

T. POPESCU D. MIHOC E. DUMBRAVĂ OV. SAMOILESCU

ACȚIONĂRI ȘI AUTOMATIZĂRI

Manual pentru licee industriale, anii IV și V.
Școli de maiștri și de specializare postliceală

Conf. dr. ing. STELIAN POPESCU
Conf. dr. ing. DAN MIHOC
Ing. EDY DUMBRAVĂ
Ing. OVIDIU SAMOILESCU

ACȚIONĂRI ȘI AUTOMATIZĂRI

Manual pentru licee industriale cu profil de mecanică, metalurgie, prelucrarea lemnului, industrie alimentară, textile și confecții, poligrafie, anii IV și V, școli de maiștri și de specializare postliceală.



EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ
BUCUREȘTI — 1977

Manualul a fost revizuit conform programei școlare aprobate de Ministerul Educației și Învățămîntului.

Materialul a fost elaborat astfel:

E. Dumbravă: cap. 1,2,3,4 (A,B,C,D), 6
Ov. Samoilescu: cap. 4 (E,F), 5, 7, 8
St. Popescu: cap. 9,10,11,12,13,15,16,19,20
D. Mihoc: cap. 14,17,18

Redactor: ing. Monica Șerbu
Tehnoredactor: Ana Țimpău
Grafician: Victor Wegemann

Capitolul 1

APARATE PENTRU ACȚIONĂRI ELECTRICE

A. APARATE ELECTRICE DE CONECTARE NEAUTOMATE

În instalațiile electrice de joasă tensiune* se folosesc aparate neautomate cu acționare manuală, care servesc pentru: conectare și deconectare, protecția circuitelor și racordarea receptoarelor.

● **Separatoarele** închid sau deschid circuite care nu sînt parcurse de curent. Se montează între porțiunile instalațiilor electrice cu scopul separării acestora, la efectuarea unor manevre de distribuție sau la reparații.

În figura 1.1. este prezentat un separator monopolar. Cadrul *1* se leagă la pămînt. Pe izolatoarele *2* sînt fixate bornele *3*. Contactul fix *4* (furca), asigură o presiune corespunzătoare pe contactul mobil 5 (cuțitul), care se poate roti în jurul axului *6*.

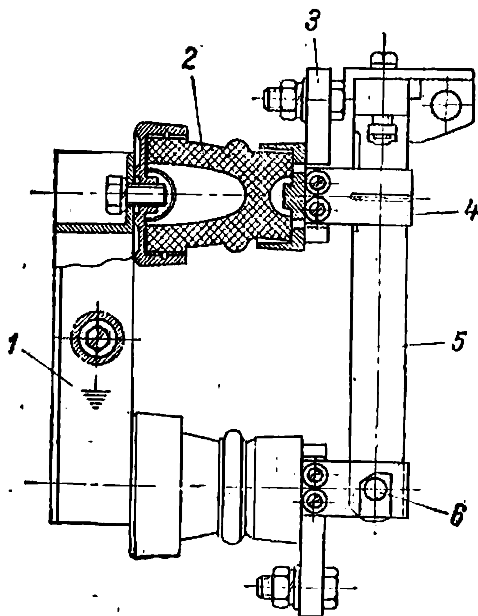


Fig. 1.1. Separator monopolar.

* Cele mai multe acționări electrice se realizează la tensiuni sub 1 000 V, motiv pentru care în prezentarea aparaturii specifice nu ne vom referi decît la această categorie.

Separatoarele sînt lipsite de capacitate de rupere a curenţilor; astfel se explică absenţa camerelor de stingere a arcului electric. Se construiesc în ţară separatoare tripolare pentru interior pentru 1 000 V şi curenţi nominali de 200 ... 1 000 A.

● **Întreruptoarele cu pîrghie** sînt aparate de joasă tensiune, acţionate manual şi dimensionate pentru comutarea (închiderea şi deschiderea) curenţilor de servici. Constructiv, spre deosebire de separatoare, întreruptoarele sînt prevăzute cu dispozitive de protecţie împotriva arcului electric.

Întreruptoarele cu pîrghie se construiesc în ţară pînă la 100 A cu acţionare directă, iar pentru curenţii de 200, 350, 600 şi 1 000 A — cu acţionare indirectă.

● **Întreruptoarele şi comutatoarele pachet şi cu came.** Ansamblul aparatului se obţine prin înşiruirea pe acelaşi ax a unui număr variabil de elemente de construcţie similară, fiecare element cuprinzînd o cale de curent. Întreruptoarele şi comutatoarele pachet cuprind o serie de discuri suprapuse pe care sînt montate contactele fixe. Contactele mobile, din material conductor elastic, cîte unul pentru fiecare sector, sînt aşezate pe un ax central şi se deplasează solidar cu acesta.

Un dispozitiv realizează întreruperea bruscă, independent de viteza cu care este acţionată maneta montată liber pe ax.

În figura 1.2. este prezentată diagrama unui comutator pachet.

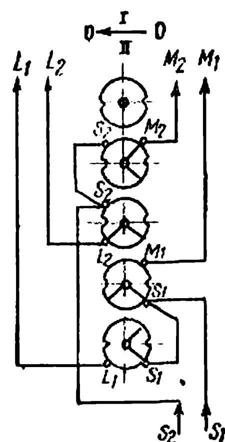


Fig. 1.2. Schema legării contactelor pentru comutatorul pachet.

Conform diagramei, acţionarea se face în două direcţii: din *O* în *I* sau din *O* în *II*. Primul disc este de sacadare, iar următoarele patru discuri sînt căile de curent. Contactele mobile au fost astfel alese, încît să realizeze în exemplul din figură închiderea căilor de curent de la S_1, S_2 la L_1, L_2 pe poziţia *I* şi de la S_1, S_2 la M_1, M_2 pe poziţia *II*.

Se fabrică în ţară întreruptoare şi comutatoare pachet şi cu came de 10,25 şi 63 A, 380 V, 50 Hz sau 220 V c.c.

● **Siguranţele cu fuzibil** sînt aparate de protecţie care întrerup circuitele electrice la trecerea unui curent mai mare decît cel prevăzut, prin topirea unui element fuzibil inseriat în circuit.

Timpul după care se topeşte fuzibilul şi la care se întrerupe circuitul depinde de valoarea curentului.

Caracteristicile tehnice ale siguranţelor fuzibile sînt: *curentul nominal, tensiunea nominală, caracteristica de topire* şi *capacitatea de rupere.*

Curentul nominal al siguranţei se marchează pe soclu.

Caracteristica de topire reprezintă timpul de topire în funcție de curentul care străbate fuzibilul.

Cel mai des întîlnite în instalațiile de joasă tensiune sînt *siguranțele unipolare cu filet*, avînd curentul nominal între 6 și 100 A. Aceste siguranțe se compun dintr-un soclu, patronul fuzibil și capacul cu filet pentru fixarea patronului în soclu.

În țară se produc siguranțe cu capacitate de rupere mică, mijlocie și cu mare putere de rupere, (MPR) cu patroane fuzibile între 0,5 și 630 A, într-o mare diversitate de forme constructive.

În acționările electrice, siguranțele realizează protecția împotriva curenților de scurtcircuit.

La alegerea fuzibilelor care protejează un motor se iau în considerație timpul și curentul de pornire, valoarea curentului de scurtcircuit al rețelei de alimentare, timpul în care trebuie separat motorul de rețea etc. Dimensionarea corectă a fuzibilului se face pe caracteristica de topire.

● **Prizele și fișele** sînt aparate folosite pentru conectarea la rețelele de joasă tensiune a consumatorilor mobili. Se produc în țară diverse tipuri de prize și fișe industriale pentru curent de 6, 10, 25 și 63 A și tensiuni pînă la 380 V, 50 Hz.

Se construiesc prize și fișe bipolare și tripolare; acestea sînt prevăzute cu un contact de protecție la care se racordează conductorul de protecție. După felul montajului, prizele se construiesc pentru montaj îngropat (în special pentru mașini unelte) sau aparent.

B. RELEE DE PROTECȚIE

În acționările electrice se folosesc, în afara siguranțelor cu fuzibil, aparate de protecție care la o variație determinată a mărimii pentru care au fost construite, comandă instantaneu sau temporizat comutarea unui contact.

● **Releele minimale și maximale de tensiune și curent.** Releele de tensiune sînt pentru curent alternativ: cele minimale — pentru tensiunile 48, 120, 160 și 320 V, iar cele maximale pentru 60, 200 și 400 V; se pot regla între 0,25 și 0,5 U_n pentru legarea în paralel și între 0,5 și 1 U_n, pentru legarea în serie a bobinelor.

Releele de curent sînt de asemenea pentru curent alternativ, pentru valori nominale între 0,05 şi 200 A.

Releele maximale de curent protejează motoarele electrice la supraintensităţi de scurtă durată şi valori reprezentînd multipli ai curentului nominal.

● **Releele termobimetalice** protejează motoarele împotriva unor suprasarcini de lungă durată şi de valori foarte apropiate de curentul nominal al releului.

În ţară se fabrică relee termice pentru curenţi nominali între 10 şi 400 A în construcţie tripolară, din seria TSA.

Alegerea releului termobimetalic se face astfel: cunoscînd valoarea curentului nominal al motorului se alege curentul de serviciu I_s al releului — de valoare imediat superioară; apoi se determină valoarea de declanşare pentru 1, 1 I_n al motorului, care trebuie să se încadreze în domeniul de reglare a releului, de preferinţă în spre limita superioară. Releele termice se construiesc cu rearmare manuală sau cu revenirea automată după declanşare (la răcirea termobimetalelor).

C. APARATE ELECTRICE DE CONECTARE AUTOMATĂ

În categoria aparatelor electrice de conectare automată se includ aparatele de comutare: *contactoarele* şi *releele*, precum şi *întreruptoarele automate*, care în afara comutării mai realizează de asemenea o funcţie de protecţie.

● **Contactoarele** execută închiderea, deschiderea sau comutarea circuitelor, la comenzi realizate prin contactul unui buton sau al unui releu. Se acţionează prin comandă locală sau de la distanţă.

Contactoarele au capacitate de rupere importantă şi prezintă rezistenţă mecanică la uzură; permit un număr mare de manevre şi o frecvenţă de conectare ridicată.

Din seria AC3, se fabrică în ţară contactoare în gama curenţilor nominali între 10 şi 400 A. Acţionarea se face în curent alternativ pentru tensiuni cuprinse între 24 şi 500 V, 50 Hz şi între 24 şi 220 V c.c.; sînt prevăzute cu contacte auxiliare normal deschise şi normal închise.

● **Contactoarele de comandă** sînt folosite în schemele de acționări electrice ca *relee intermediare* pentru multiplicarea unor semnale.

Se construiesc în țară contactoare de comandă cu opt contacte, pentru tensiuni normalizate ale bobinei de la 24 pînă la 500 V, 50 Hz și de la 24 pînă la 220 V c.c.

Contactele suportă un curent nominal termic de 6 A.

● **Releele de timp**, realizează aceeași funcție ca și releele intermediare, dar acțiunea este decalată în timp față de impulsul de comandă.

Releele de timp se deosebesc după felul temporizării: *cu temporizare la cuplare* (contactele se comută după un interval de timp de la excitarea bobinei) și *cu temporizare la decuplare* (contactele se comută după un interval de timp de la dezexcitarea bobinei).

● **Întreruptoarele automate** alcătuiesc o categorie importantă de aparate electrice combinate pentru comutarea, protecția și comanda motoarelor, transformatoarelor și liniilor electrice.

Întreruptoarele automate trebuie să rupă curenții de scurtcircuit foarte mari, de ordinul zecilor de kiloamperi și din această cauză sînt dotate cu dispozitive complexe pentru stingerea arcului.

În țară, la Întreprinderea Electroaparataj, se produc întreruptoare automate din seria ISOL de 0,4 kV, 100, 250, 500 A, precum și întreruptoare din seria OTOMAX de 1 000 și 2 500 A.

Secțiunea prin *întreruptorul OTOMAX* din figura 1.3 permite analizarea construcției, cinematicii și subansamblurilor aparatului.

Barele de legătură *1* străbat cadrul fix *2* la contactele debroșabile fixe *3*. Căile de curent se continuă prin contactele debroșabile mobile *4* atît la contactele principale fixe *5* și la coarnele de suflaj fixe *7*, cît și la contactele principale mobile *6* și la coarnele de suflaj mobile *8*. Un volum important din gabaritul aparatului îl ocupă camerele de stingere *9*, cu plăcuțe deionice. Maneta de acționare *19* acționează resortul de anclanșare *15* și mecanismul de anclanșare *14*.

Declanșatoarele combinate termice și maximale *10* și declanșatorul de tensiune minimă *11*, acționează asupra axului de declanșare *12*. Dispozitivul de siguranță *13* produce de asemenea declanșarea, în cazul în care se execută o manevră greșită. Pe partea frontală se găsesc butoanele *16* de anclanșare și declanșare și semnalizatoarele care indică: „resoarte armate“ sau „resoarte nearmate“ și pozițiile „închis“, „deschis“.

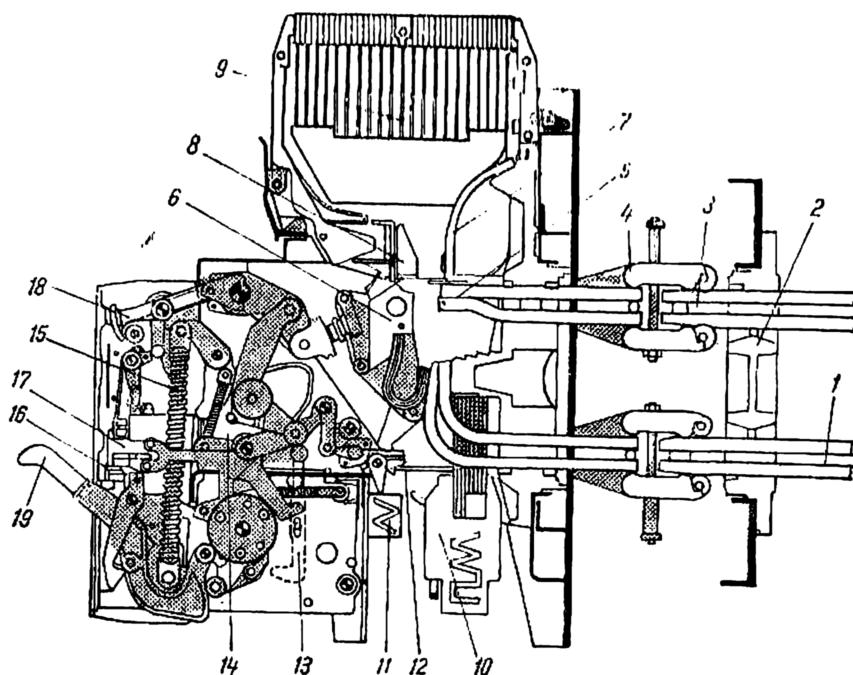


Fig. 1.3. Întreruptor automat din seria OTOMAX (secţiune).

D. APARATE DE PORNIRE, REGLARE, FRÎNARE ŞI AUTOMATIZARE

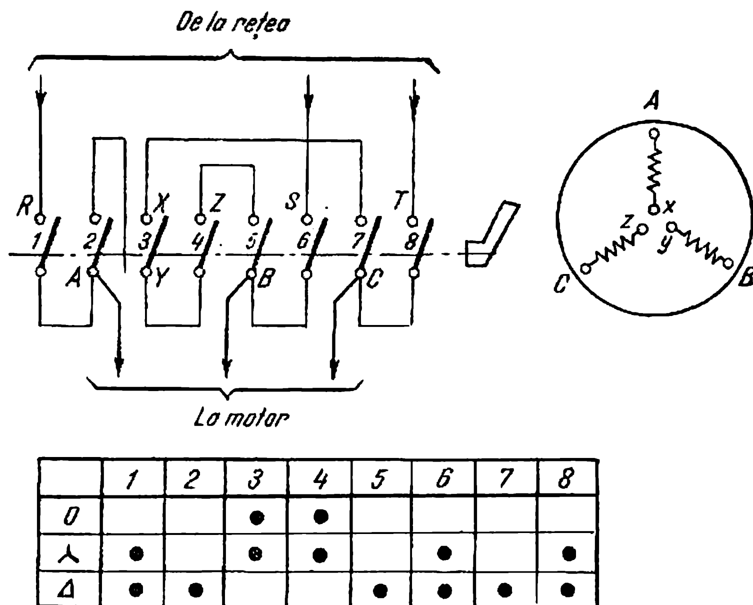
1. APARATE DE PORNIRE ŞI REGLARE

Aparatele de pornire şi reglare se folosesc la pornirea şi reglarea vitezei de rotaţie a motoarelor electrice.

● **Comutatoarele stea-triunghi** se folosesc la pornirea motoarelor electrice asincrone cu rotorul în scurtcircuit, pentru reducerea curentului absorbit la pornire. Trecerea din poziţia stea în poziţia triunghi se face manual. Comutatoarele stea-triunghi se construiesc cu contacte în aer de 25 A şi 63 A, sau în ulei — de 100 A şi 200 A.

În figura 1.4 este prezentată schema de legături a unui comutator stea-triunghi.

În schema de legături şi pe diagrama închiderii contactelor se poate urmări succesiunea realizării funcţiunii propuse.



	1	2	3	4	5	6	7	8
0			●	●				
⅄	●		●	●		●		●
Δ	●	●			●	●	●	●

Fig. 1.4. Schema de legături a comutatorului stea-triunghi.

● **Controlerele** se folosesc pentru conectarea și comutarea circuitelor de forță și de comandă.

Controlerele pentru circuitele principale racordate la cutii cu rezistențe se folosesc pentru pornirea și reglarea vitezei motoarelor electrice, pentru curenții pînă la 100 A. Se deosebesc două tipuri constructive: *cu tambur* și *cu came.*

În figura 1.5 este reprezentată diagrama contactelor cu legăturile executate pentru șuntarea unor rezistențe.

Controlerele pentru circuite secundare se folosesc pentru comutarea unor puteri mari, cu aparate de gabarit reduse. Contactele controlerelor pentru circuite secundare sînt dimensionate pentru curenți de 10 A și comandă circuitele de forță indirect, prin intermediul contactoarelor.

● **Aparatul de comandă a cursei** este o variantă a controlerului pentru circuite secundare. Acest aparat se conectează la reductorul mecanismului de execuție și în funcție de unghiul de rotire dă impulsul de comandă. Axul aparatului se poate roti continuu și pe el se asamblează fie o serie de discuri cu un anumit profil standard și într-o anumită succesiune, fie o serie de discuri pe care se pot fixa came.

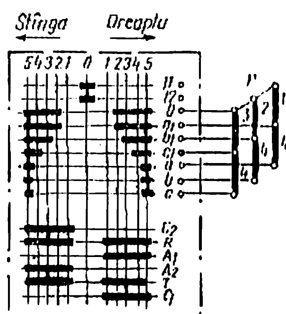


Fig. 1.5. Diagrama contactelor şi racordarea unui controler la rezistenţe.

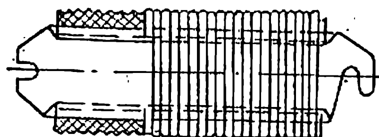


Fig. 1.6. Element de rezistenţă cu sîrmă.

● **Reostatele** sînt aparate folosite pentru pornirea şi reglarea turaţiei motoarelor electrice. Reostatele se compun dintr-un element de comutare şi o rezistenţă, asamblate într-o carcasă comună, cu răcire în aer sau ulei.

Se construiesc *reostate de pornire* şi *reostate de pornire şi reglare.* Reostatele de pornire se folosesc exclusiv pe durata pornirii. Reostatele de pornire şi reglare se folosesc atît pe durata pornirii, cît şi în timpul funcţionării, pentru reglarea vitezei.

Reostatele cu rezistoare metalice sînt elemente pentru reglare în trepte şi se construiesc pentru motoare de curent alternativ cu rotor bobinat cu puterea pînă la 160 kW şi pentru circuitele de excitaţie ale maşinilor de curent continuu.

Reostatele cu lichid constituie o categorie aparte de aparate construite de asemenea, fie pentru pornirea, fie pentru pornirea şi reglarea continuă a vitezei motoarelor asincrone cu rotor bobinat cu puteri de 250 kW şi mai mari.

● **Rezistoarele** sînt aparate folosite pentru pornirea, reglarea şi frînarea motoarelor de curent alternativ şi continuu. Rezistenţele tubulare servesc la pornirea motoarelor mici pînă la 2 kW. Rezistoarele tubulare se execută din material cu rezistivitate înaltă, constantan sau crom nichel.

Pentru motoare cu puteri pînă la 10 kW se folosesc cutii cu elemente din sîrmă (fig. 1.6). Fiecare element se compune dintr-o placă de oţel prevăzută cu degajări pentru ansamblarea în cutie.

Muchiile plăcii sînt acoperite cu izolatoare ceramice canelate pe care se înfăşoară sîrma.

Pentru motoare cu putere mai mare de 30 kW se folosesc cutii cu rezistoare din fontă sau din tablă silicioasă.

2. APARATE DE FRÎNARE

Frînele sînt dispozitive pentru controlul opririi mecanismelor acţionate. După curentul pe care-l folosesc, frînele sînt de curent continuu şi de curent alternativ, monofazat sau trifazat. După elementul de acţionare, frînele pot fi *cu electromagnet* sau *cu electromotor*.

Electromagneţii de frînă pot fi: cu tragere, cu împingere, cu tragere şi împingere.

În figura 1.7 este reprezentat un electromagnet monofazat de curent alternativ pentru frîne tip tambur. Saboţii *1* sînt apăsaţi pe tamburul *2* de resortul *3*. Sub acţiunea electromagnetului *4*, pîrghia 5 acţionează asupra saboţilor, depărtîndu-i.

3. APARATE DE AUTOMATIZARE

Aparatele de automatizare folosite în acţionările electrice formează o categorie cu diversitate foarte mare, din care sînt menţionate în cele ce urmează: *butoanele*, *cheile de comandă*, *lămpile de semnalizare* şi *limitatoarele de cursă*.

● **Butoanele** se folosesc în instalaţiile electrice pentru darea impulsurilor de comandă. Pot fi prevăzute cu unul sau mai multe grupuri de contacte de tip punte, normal deschise sau normal închise.

Ca variante constructive există: *butoane pentru montaj aparent* şi *butoane pentru montaj îngropat*.

Seria de butoane pentru maşini unelte fabricate în ţară poate comanda circuite de curent alternativ pînă la 380 V şi 2 A şi de curent continuu pînă la 220 V şi 0,25 A.

● **Cheile de comandă** sînt similare întreruptoarelor, dar curentul nominal este sub 6 A.

● **Lămpile de semnalizare** indică situaţiile normale sau de avarie, din instalaţia supravegheată.

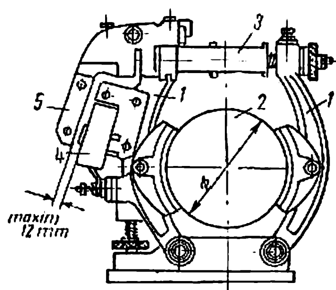


Fig. 1.7. Electromagnet de frînă tip tambur.

Se execută în mai multe variante constructive: *lămpi normale*, *cu transformator* sau *casete*. Geamul poate fi diferit colorat.

● **Limitatoarele de cursă** sînt aparate cu contacte, acționate de un element aparținînd organului de execuție și sînt folosite în instalațiile de automatizare.

Limitatoarele de cursă cu buton realizează comutarea contactelor prin apăsarea butonului sau a capătului tijei care poartă contactele mobile și care se deplasează axial.

Limitatoarele de cursă cu pîrghie se folosesc pentru limitarea organelor de mașini în mișcare; acționarea se face prin deplasarea unei pîrghii prevăzute cu o rolă; acționarea contactelor rezultă din cinematica transmisiei, fie prin deplasarea axială, fie prin rotație.

Limitatoarele de cursă cu șurub se folosesc pentru limitarea cursei organelor de mașini în mișcare de rotație. Mișcarea de rotație se transmite unui ax filetat, pe care se deplasează axial (între ghidaje) piesa care acționează contactele electrice.

Cursa axială a piesei care acționează contactele se realizează de obicei în maximum 20 rotații. Numărul de rotații necesare pentru acționarea unui contact poate fi prestabilit.

Limitatoarele de cursă magnetice se compun dintr-o carcasă în formă de furcă, în ale cărei brațe sînt montate respectiv un contact „trestie" și un magnet permanent.

Contactul „trestie" este un microcontact capsulat cu vid într-un tub de sticlă. Sub acțiunea magnetului permanent contactul se găsește în mod normal acționat.

Comutarea limitatorului magnetic se produce cînd o piesă lamelară, cu rol de ecran magnetic și care este fixată pe un organ de execuție, se deplasează între brațele furcii; în acest caz acțiunea cîmpului exercitată de magnet asupra contactului „trestie" încetează, iar contactul comută.

E. APARATE CU DESTINAȚIE SPECIALĂ

În categoria aparatelor speciale, se prezintă cîteva aparate care se folosesc în instalațiile de acționări electrice și care indică tendința de diversificare și specializare a echipamentelor electrice industriale.

1. ÎNTRERUPTOARELE DE AVARIE

Întreruptoarele de avarie cu funie se montează de-a lungul transportoarelor cu bandă pentru a permite personalului de exploatare și întreținere să comande o oprire urgentă, din toate punctele de acces la utilaj.

Aparatul este prevăzut cu un sistem de contacte acționate din exteriorul unei carcase în execuție IP42, printr-o pîrghie. Pîrghia este rotită prin tragerea unui cablu de oțel dispus de-a lungul transportorului. După o acționare, pîrghia rămîne blocată și indică personalului de intervenție localizarea opririi de avarie.

2. SUPRAVEGHETOARELE DE TURAȚIE

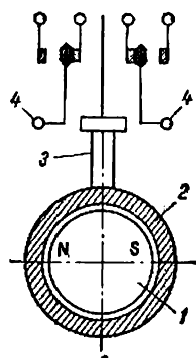


Fig. 1.8. Supraveghetor de turație electromecanic.

Supraveghetoarele de turație sînt aparate folosite pentru frînarea în contracurent a mecanismelor, pentru controlul funcționării transportoarelor cu bandă, la patinare sau la ruperea benzilor.

În figura 1.8 este redată principial construcția supraveghetorului de turație; mișcarea de rotație a mecanismului este transmisă printr-un ax pe care este montat un magnet permanent *1*. Magnetul se rotește într-un cilindru *2*, pe care se află o înfășurare în scurtcircuit; pîrghia *3* este solidară cu cilindrul *2*. În timpul funcționării mecanismului, din interacțiunea dintre cîmpul magnetic al magnetului permanent și cîmpul indus în înfășurarea în scurtcircuit, rezultă o deplasare a cilindrului în sensul rotației. Ca rezultat, pîrghia acționează unul din contactele *4*.

La frînare, cînd viteza se reduce foarte mult, interacțiunea cîmpurilor devine neglijabilă, pîrghia revine în poziția inițială și contactul se comută.

F. ANSAMBLURI STATICE PENTRU ALIMENTAREA ACȚIONĂRILOR ELECTRICE

Elementele statice ocupă un spațiu redus, astfel încît realizarea unui ansamblu de alimentare pentru un motor se obține în gabaritul unui dulap cu aparataj.

1. TRANSDUCTORUL

Transductorul este o reactanță saturabilă formată dintr-un miez magnetic și o înfășurare electrică; se comportă ca un generator de tensiune variabilă sau ca un transformator cu impedanță variabilă.

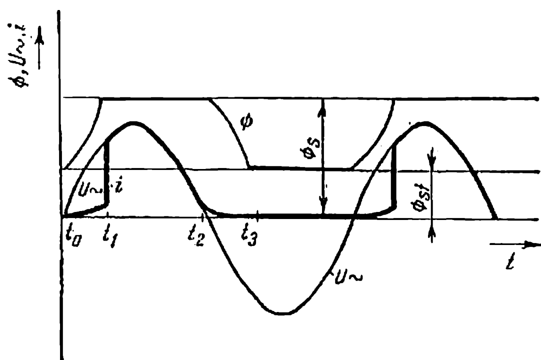


Fig. 1.9. Diagramele φ, $U \sim$, $i = f(t)$ pentru un amplificator magnetic.

2. AMPLIFICATORUL MAGNETIC

Amplificatorul magnetic cuprinde un transductor înseriat cu redresorul care blochează unul din cele două sensuri de trecere a curentului. Tensiunea la bornele sarcinii depinde de gradul de saturare al reactanței. Tensiunea minimă depinde de curentul de magnetizare remanent, iar tensiunea maximă depinde de căderea de tensiune pe impedanța de sarcină și pe redresor.

Amplificatorul magnetic este prevăzut cu înfășurări suplimentare de comandă care permit deplasarea punctului la care apare saturarea, mai aproape sau mai departe de t_0, prin aplicarea unui flux suplimentar Φ_{st} (fig. 1.9).

În țară se construiesc două tipuri de amplificatoare magnetice, AMSU și AMSI, literele simbolizînd următoarele: Amplificator, Magnetic, cu miez din tablă silicioasă, cu tola în formă de U (sau I) de mărimea 1 ... 8 și cu gabarit a sau b. Puterea absorbită de rețea ajunge pînă la 90 kVA.

3. MUTATORUL

Mutatoarele sînt dispozitive de transformare statică a parametrilor energiei electromagnetice cu ajutorul unor elemente statice cu caracteristică neliniară.

● Mutatoarele se clasifică astfel:

— *redresorul*, care transformă energia de curent alternativ în energie de curent continuu;

— *invertorul*, care transformă energia de curent continuu în energie de curent alternativ;

— *convertizorul*, care modifică curentul, tensiunea, frecvența și numărul de faze a energiei electrice;

— *variatorul de tensiune alternativă*, care reglează circulaţia de energie în circuite de curent alternativ;

— *variatorul de tensiune continuă*, care reglează circulaţia de energie în circuite de curent continuu.

● **Dispozitive semiconductoare utilizate în construcţia mutatoarelor.**

Tiratronul este un dispozitiv realizat în tub de sticlă sau de oţel, cu vapori de mercur, catod cald şi grilă de comandă. Se foloseşte pentru realizarea convertizoarelor de c.c.

Mutatorul polianodic cu vapori de mercur este realizat în cuve din oţel sudat, cu pompă de vid, răcire cu apă, cu excitaţie continuă şi grile de comandă. Se foloseşte ca redresor sau inventor pentru alimentarea motoarelor mari în metalurgie.

Excitronul este un element monoanodic realizat în cuvă sudată, etanşă, răcită cu aer sau apă, cu excitaţie continuă, aprindere succesivă şi grile de comandă. Se foloseşte ca redresor sau convertizor.

Ignitronul este un element monoanodic realizat în cuvă sudată etanşă, răcită cu aer sau apă, cu electrod de aprindere, grilă de comandă, fără excitaţie continuă. Se foloseşte ca redresor sau invertor.

Diodele redresoare semiconductoare necomandate se folosesc într-o gamă foarte largă. Se fabrică diode cu seleniu, germaniu şi siliciu.

Tranzistorul este un dispozitiv semiconductor, monocristal, din germaniu sau siliciu, cu trei straturi impurificate diferit, cu comandă continuă. În regim de comutare poate fi folosit ca element de circuit de mutator, pentru comanda motoarelor de puteri mici.

Tiristorul este un ventil electric cu siliciu, comandat, cu patru straturi impurificate diferit.

Structura fizică a tiristorului este ilustrată în figura 1.10. Între anodul *A* şi catodul *K* sînt patru straturi *p-n-p-n* şi joncţiunile I_1, I_2, I_3.

Sensul de conducţie direct al curentului în regim de conducţie i_F, este de la anod la catod, cînd se aplică tensiunea U_a.

Curentul de comandă i_G, produs de tensiunea U_G, se aplică la joncţiunea I_3; al doilea strat *p* este denumit grilă de comandă.

Tiristoarele au un gabarit redus, o comportare dinamică foarte bună şi permit obţinerea unor scheme de reglaj variate. Tehnica modernă utilizează cel mai mult semiconductoarele cu siliciu.

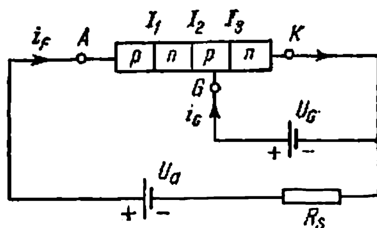


Fig. 1.10. Tiristor. Structură fizică şi schemă de conectare.

REZUMAT

Aparate de conectare neautomate
- separatoare
- întreruptoare cu pîrghie
- întreruptoare pachet
- siguranțe fuzibile
- prize și fișe

Relee de protecție
- de tensiune
- de curent
  - termobimetalice
  - electromagnetice

Aparate de conectare automată
- contactoare
  - forță
  - comandă
- relee de timp
- întreruptoare automate

Aparate de pornire, reglare, frînare și automatizare
- pornire
  - comutatoare stea-triunghi
- reglare
  - controlere
  - reostate
  - rezistențe
- frînare
  - electromagneți de frînă
- automatizare
  - butoane
  - chei
  - lămpi
  - limitatoare de cursă

Aparate cu destinație specială
- întreruptoare de avarie cu funie
- supraveghetoare de turație

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Ce protecții asigură întreruptorul automat?
2. Bobina unui releu de timp este dezexcitată; contactul normal închis al releului se închide după 4 s. Să se precizeze ce fel de releu de timp este:
a) cu temporizare la închidere; b) cu temporizare la deschidere?
3. Prin ce se deosebește un controler de un aparat de comandă a cursei?
4. Prin ce se deosebește tiristorul de tranzistor?

Capitolul 2

CINEMATICA ŞI DINAMICA ACŢIONĂRILOR ELECTROMAGNETICE

A. SCHEMA DE ACŢIONARE. CUPLURI

Schema structurală a unei acţionări electrice (fig. 2.1) cuprinde o sarcină S, de exemplu un strung, capabilă să producă un lucru mecanic util şi care primeşte energia mecanică de la un motor electric M, alimentat cu energie electrică. Sistemul mecanic comportă şi o masă totală de inerţie I, care cuprinde atît piesele în mişcare, cît şi o masă de energie suplimentară (volant), asigurînd sporirea capacităţii de acumulare şi de cedare a energiei cinetice. În scopul îndeplinirii unui anumit program de acţionare, motorul primeşte o comandă.

La stabilirea regimului de mişcare a sistemului de acţionare intervin, în general trei cupluri, corespunzător elementelor M, S şi respectiv I, din figura 2.1: *cuplul motor=activ*, *cuplul static=de sarcină* şi *cuplul dinamic de inerţie*.

● **Cuplul motor** (M_m) este un moment activ, deoarece produce mişcarea ansamblului; el este caracteristic fiecărui tip de motor (asincron, sincron etc.).

Cuplul motor produce mişcarea şi se consideră pozitiv ($+M_m$).

● **Cuplul static** (M_s) este un moment rezistent, adică opus momentului motor, fiind specific fiecărui tip de sarcină şi cuprinde atît momentul necesar lucrului mecanic util, cît şi momentul de frecare mecanică (frecare în lagăre, frecare cu aerul etc.).

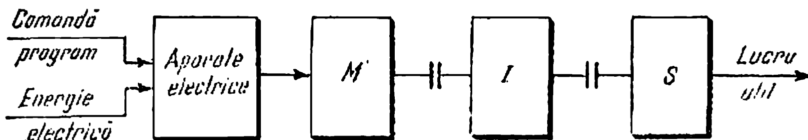


Fig. 2.1. Schema structurală a unei acţionări electrice.

Cuplul static este rezistent, adică se opune mişcării şi deci, în mod normal, se consideră negativ $(-M_s)$.

● **Cuplul dinamic** (M_d) este un moment de asemenea rezistent, prin care masele în mişcare se opun variaţiilor de viteză. Rezultă că în funcţionare la viteză constantă, cuplul dinamic este nul.

Cuplul dinamic fiind rezistent, se opune mişcării şi se consideră negativ $(-M_d)$ în regim de accelerare (la pornirea din repaus pînă la o anumită viteză sau în general la creşterea vitezei) şi pozitiv $(+M_d)$ în regim de frînare (la oprirea sau în general la scăderea vitezei).

B. ECUAŢIA FUNDAMENTALĂ A MIŞCĂRII

Suma algebrică a valorilor instantanee pentru cuplurile care acţionează asupra unui sistem în mişcare este nulă:

$$M_m - M_s - M_d = 0.$$

Această relaţie, care stabileşte echilibrul cuplului motor M_m, cuplului static M_s şi cuplului dinamic M_d, se numeşte *ecuaţia fundamentală a mişcării*. Starea de echilibru se menţine pe toată perioada mişcării.

Ecuaţia fundamentală poate fi dezvoltată într-o formă analoagă cu ecuaţia legii mişcării rectilinii:

$$F_m = F_s - ma,$$

în care F_m este forţa echivalentă care produce mişcarea, F_s — rezultanta forţelor care se opun mişcării şi ma — produsul dintre masă şi acceleraţie.

Aplicînd forţa F_m (fig. 2.2) tangent unui corp cilindric C fixat în lagărele l_1, l_2 va lua naştere un cuplu M_m care produce învîrtirea cilindrului cu viteza liniară v sau cu viteza unghiulară Ω.

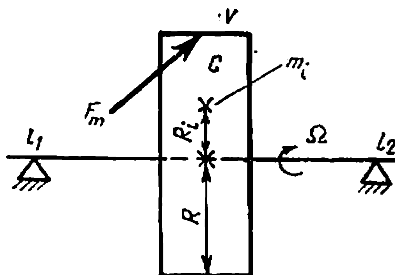


Fig. 2.2. Acţiunea unei forţe aplicate asupra unui corp care se poate roti.

Multiplicînd forţele cu braţul de forţă care este raza R:

$$F_mR = F_sR + mR^2\frac{d\Omega}{dt} = $$
$$= M_m = M_s + M_d.$$

Aşadar, cuplul dinamic M_d al unui corp de masă M care se roteşte cu viteza Ω este proporţională cu pătratul razei de rotaţie R.

C. MOMENTE DE INERȚIE, ENERGIE CINETICĂ, MOMENT DE VOLANT

● **Momentul de inerție axial** J al unui corp C (fig. 2.2) în mișcare de rotație, este suma produselor dintre masa punctelor m_i și pătratul distanțelor R_i față de axa de rotație:

$$J = \sum_{1}^{n} m_i R_i^2, \text{ în care } i = 1 \dots n.$$

● **Energia cinetică** A a unui solid format din n puncte este:

$$A = \sum_{1}^{n} \dots A_i = \sum_{1}^{n} \dots m_i \frac{\Omega^2 R_i^2}{2} = \frac{\Omega^2}{2} \sum_{1}^{n} m_i R_i^2.$$

Deoarece suma $m_i R_i^2$ reprezintă momentul de inerție J al corpului, rezultă că energia cinetică a unui corp în rotație poate fi exprimată sub forma:

$$A = J \frac{\Omega^2}{2}.$$

● **Momentul de volant.** Acționările electrice folosesc în anumite situații mase de inerție care acumulează energie cinetică în perioadele în care cuplul rezistent este redus și cedează energia acumulată la vîrfuri de sarcină. Aceste mase de inerție cu destinație specială se numesc *volanți.*

Masa volantului este raportul dintre greutatea G și accelerația gravității g(m/s²):

$$\sum_{1}^{n} m_i = m = \frac{G}{g} = \frac{G}{9{,}81}.$$

Raza medie a punctelor de masă m_i **este** R **și se numește** ***raza de girație*** a volantului: $\sum_{1}^{n} R_i = R.$

Notînd $2R = D$ (diametrul de girație), momentul de inerție obținut astfel este:

$$J = mR^2 = \frac{G}{g}\left(\frac{D}{2}\right)^2 = \frac{GD^2}{4g} \text{ [kgm}^2\text{] (unitate de măsură SI).}$$

Mărimea lui GD^2 se numeşte *moment de volant* şi este dată de expresia:

$$GD^2 = 4gJ \text{ [kgfm}^2\text{]}.$$

GD^2 se dă în cataloagele de maşini electrice (exprimat în unităţi MKfS).

D. REDUCEREA CUPLURILOR LA AXUL MOTORULUI

Între motorul de acţionare şi elementul acţionat există un lanţ cinematic de organe de maşini, axe, angrenaje, reductoare; fiecare dintre aceste elemente intermediare au momente de inerţie proprii, care produc cupluri dinamice la accelerare şi decelerare. De asemenea, fiecare element intermediar introduce frecări, care reprezintă cupluri rezistente.

Toate cuplurile care intervin în fiecare moment în ecuaţia fundamentală a mişcării trebuie considerate faţă de un ax unic; această raportare se face la axul motorului şi se numeşte reducerea cuplurilor la axul motor.

1. REDUCEREA CUPLURILOR STATICE LA AXUL MOTOR

Puterea motorului se transmite prin *cuplaje*: cu roţi dinţate, curele, cuplaje magnetice, hidraulice, electrice.

Într-un angrenaj simplu (fig. 2.3) există un ax antrenat, care se roteşte cu viteza Ω_p şi un al doilea ax, motor care se roteşte cu viteza Ω_q.

Toate transmisiile au un randament propriu η_{pq} (de valoare subunitară), care reprezintă raportul dintre puterea de ieşire P_q (primită de axul q) şi puterea de intrare P_p (transmisă de axul p): $P_q = P_p \cdot \eta_{pq}$.

Datorită vitezelor diferite, cuplurile vor fi deosebite:

$$M_q = M_p \frac{\Omega_p}{\Omega_q} \eta_{pq}.$$

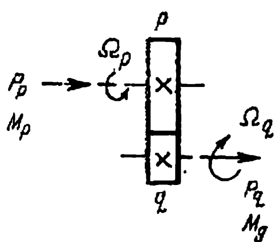


Fig. 2.3. Cuplarea prin angrenaj simplu.

Raportul de transmitere între axele p şi q se notează $i_{pq} = \frac{\Omega_p}{\Omega_q}$ şi relaţia de mai sus devine:

$$M_p = M_q \cdot \frac{1}{i_{pq}} \cdot \frac{1}{\eta_{pq}}.$$

În cazul general al unei acţionări cu angrenaj multiplu (cu n axe), puterile transmise exprimate ca produse între cuplu şi viteză sînt:

$$P_i = M_i \Omega_i.$$

2. REDUCEREA CUPLURILOR DINAMICE LA AXUL MOTOR

Asemenea cuplurilor statice şi cuplurile dinamice trebuie reduse la axul motorului. În acţionarea multiplă cu n axe, fiecare element din lanţul cinematic are un moment de inerţie de relaţia:

$$A_i = J_i \frac{\Omega^2}{2}.$$

Energia cinetică redusă la axul *1* al motorului este exprimată prin relaţia:

$$A = J_1 \frac{\Omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\Omega_2^2}{2} + J_3 \frac{\Omega_3^2}{2} + \dots J_n \frac{\Omega_n^2}{2} = J_r \frac{\Omega_1^2}{2},$$

în care prin J_r s-a notat *momentul de inerţie redus la axul motorului.*

Înlocuind rapoartele vitezelor unghiulare prin rapoartele de transmisie i, se obţine:

$$J_r = J_1 + J_2 \frac{1}{i_{12}^2} + J_3 \frac{1}{i_{13}^2} + \dots + J_n \frac{1}{i_{1n}^2}.$$

Momentul de volant GD^2 corespunzător este: $GD^2 = 4gJ_r$.

Momentul de volant total însumează deci momentul de volant redus al elementelor lanţului cinematic cu momentul de volant al motorului.

3. TRANSFORMAREA MIŞCĂRII DE TRANSLAŢIE ÎN MIŞCARE DE ROTAŢIE

În lanţurile cinematice intervin elemente care se mişcă pe traiectorii liniare. În acest caz, pentru reducerea cuplurilor la axul motor se procedează la găsirea unor mărimi echivalente calculate pe principiul conservării energiei.

Momentul de inerţie redus la axul motor, produs de masa m în mişcare liniară cu viteza v este:

$$J_r = \frac{mv^2}{\Omega^2}.$$

Momentul de volant introdus în masele de translaţie este:

$$(GD^2)_r = \frac{4gmv^2}{\Omega^2} = \frac{4Gv^2}{\Omega^2}.$$

REZUMAT

Regimul de mişcare al unui sistem de acţionare este determinat de echilibrul *cuplurilor*: motor, static şi dinamic.

Cuplul dinamic al corpurilor în mişcare de rotaţie este proporţional cu pătratul razei de rotaţie.

Pentru calculul cuplului motor necesar al unei acţionări electrice, *toate cuplurile se reduc la axul motor.*

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. Momentul dinamic este pozitiv:
   a) în regim de accelerare? b) de frînare?
2. Momentul de volant GD^2 variază proporţional cu:
   a) momentul de inerţie axial? b) pătratul momentului de inerţie axial?
3. Să se calculeze momentul de inerţie al unui volant avînd masa de 25 kg şi raza de giraţie de 0,20 m.
4. Să se calculeze momentul de inerţie produs de un corp de 10 kg în mişcare de translaţie cu viteza de 0,1 m/s, dacă viteza axului de raportare a momentelor este de 1 rad/s.

Capitolul 3

CARACTERISTICILE MECANICE ALE MAŞINILOR DE LUCRU

A. TIPURI DE MAŞINI DE LUCRU

Alegerea motoarelor cu care sînt echipate maşinile de lucru porneşte de la diagrama de sarcină (caracteristica mecanică) a maşinii de lucru.

Caracteristica mecanică a sarcinii reprezintă *dependenţa dintre cuplul static şi una din următoarele mărimi: viteza, unghiul de rotaţie, spaţiul sau timpul.*

Caracteristicile mecanice permit împărţirea maşinilor de lucru în cinci grupe.

● **Grupa 1.** Cuplul static M_s este constant, puterea P este proporţională cu viteza, iar caracteristica mecanică se prezintă ca o dreaptă paralelă cu ordonata (fig. 3.1):

$$M_s = ct; \quad P \sim n.$$

Exemple: O greutate suspendată de cîrligul unei macarale ridicată cu aceeaşi viteză de la sol pînă la înălţimea cerută, căruciorul de pe podurile rulante care se deplasează în deschiderea unei hale, transportorul cu bandă, calea cu role de la un laminor etc.

● **Grupa 2.** Cuplul static depinde de viteză.

Grupa 2.1. Cuplul static este proporţional cu viteza, puterea este proporţională cu pătratul vitezei, iar caracteristica mecanică este o curbă care trece prin origine (fig. 3.2):

$$M_s \sim n; \quad P \sim n^2.$$

Exemple: Cilindri cu frecare datorită viscozităţii, frînă cu curenţi turbionari.

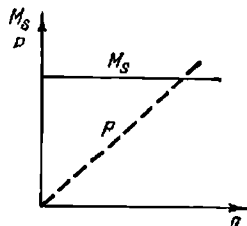


Fig. 3.1. Caracteristică mecanică pentru maşină de lucru din grupa 1.

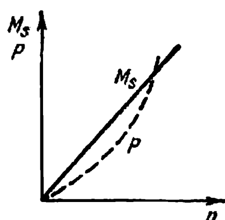


Fig. 3.2. Caracteristică mecanică pentru mașină de lucru din grupa 2.1.

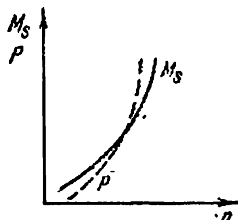


Fig. 3.3. Caracteristică mecanică pentru mașină de lucru din grupa 2.2.

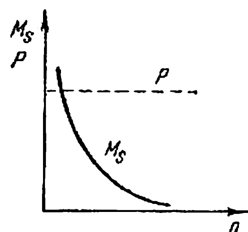


Fig. 3.4. Caracteristică mecanică pentru mașină de lucru din grupa 2.3.

Grupa 2.2. Cuplul static este proporțional cu pătratul vitezei, puterea este proporțională cu viteza la puterea a treia, iar caracteristica mecanică este de asemenea o curbă care trece prin origine (fig. 3.3):

$$M_s \sim n^2; \qquad P \sim n^3$$

Exemple: pompe, ventilatoare, centrifuge.

Grupa 2.3. Cuplul static este invers proporțional cu viteza, puterea este constantă, iar caracteristica mecanică este o hiperbolă (fig. 3.4):

$$M_s \sim \frac{1}{n}; \qquad P = ct.$$

Exemple: mașini de bobinat și de derulat, strunguri frontale.

Caracteristica mecanică reprezintă în practică rezultanta unor caracteristici mecanice elementare. Astfel, pentru un ascensor caracteristica mecanică rezultă din suprapunerea cuplului de frecare variabil și a unui cuplu constant (fig. 3.5).

● **Grupa 3.** Caracteristica mecanică (fig. 3.6) reprezintă cuplul pulsator care poate fi descompus prin metode matematice într-o componentă constantă M_{sm} și în oscilații sinusoidale.

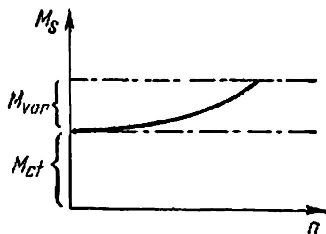


Fig. 3.5. Caracteristică mecanică rezultantă.

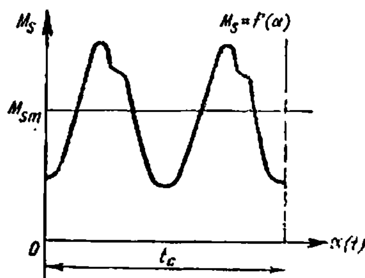


Fig. 3.6. Caracteristică mecanică pentru mașină de lucru din grupa 3.

Exemplu: un compresor acționat de o bielă manivelă. Cuplul rezistent variază în funcție de unghiul α pe care îl face biela față de direcția cursei pistonului din cilindrul de compresiune.

● **Grupa 4.** Alura caracteristicii mecanice este determinată de înclinare.

Exemplu: un vagon autopropulsat pe o cale de rulare cu diferite pante.

● **Grupa 5.** Caracteristica mecanică este redată prin variația cuplului static în funcție de timp.

B. DETERMINAREA GRAFICULUI CARACTERISTICII MECANICII DE SARCINĂ

Graficul caracteristicii mecanice de sarcină al unei mașini de lucru poate fi trasat după determinarea graficelor forțelor și vitezelor aferente.

● **La funcționarea cu viteză constantă,** forța rezistență F_r care trebuie învinsă de mașină este rezultanta dintre forța utilă F_u pentru realizarea produsului și forța de frecare F_f, care apare între diferitele organe în mișcare ale mașinii de lucru: $F_r = F_u + F_f$.

● **La funcționare în gol,** forța rezistentă și forța de frecare se echilibrează.

● **La funcționare în regim de pornire și de oprire,** cînd viteza variază în timp, apare forța dinamică F_d, proporțională cu masa organelor în mișcare m și cu accelerația liniară imprimată acestora: $F_d = ma$.

Forța dezvoltată de motor F trebuie să compenseze forța rezistentă și forța dinamică: $F = F_r + F_d = F_r + ma$.

Din ecuația echilibrului forțelor, se poate explicita accelerația liniară:

$$a = \frac{F - F_r}{m}$$

Accelerația fiind variația vitezei în funcție de timp $a = \frac{\Delta v}{t}$, prin înlocuire se obține funcția dintre variația vitezei și forței:

$$\Delta v = \frac{F - F_r}{m} \Delta t.$$

Această relație ne permite să trasăm graficele forței și vitezei. La pornire, forța F dezvoltată de motor fiind F_1, constantă, variația vitezei:

$$\Delta v = \frac{F_1 - F_r}{m} \Delta t$$

este proporțională cu variația timpului.

Pe graficul din figura 3.7 pentru intervalul de timp t_1, viteza este reprezentată printr-o dreaptă care porneşte din originea axelor de coordonate pînă la viteza nominală a maşinii de lucru, iar forţa F_1 — printr-o dreaptă paralelă cu abscisa: forţa F_1 echilibrează forţa rezistenţă F_r şi forţa dinamică consumată pentru învingerea inerţiei.

Pentru intervalul de timp t_2, maşina de lucru îşi continuă mişcarea la viteză constantă şi la o forţă constantă F_2 consumată pentru învingerea forţei rezistente $\frac{\Delta v}{\Delta t} = 0 = \frac{F_2 - F_r}{m}$:

$$F_2 = F_r.$$

Viteza şi forţa se reprezintă pe grafic prin paralelele la abscisă.

Presupunînd că şi la oprire forţa F_3 este constantă, variaţia vitezei devine din nou proporţională cu variaţia timpului:

$$v = \frac{F_3 - F_r}{m} \Delta t$$

iar pe grafic, în intervalul t_3, viteza se reprezintă printr-o dreaptă care porneşte de la viteza nominală şi scade pînă la 0.

Forţa dinamică acţionează în acelaşi sens cu forţa motorului astfel că F_3 se reprezintă printr-o dreaptă paralelă cu abscisa, dar sub valoarea lui F_2.

Cunoscînd relaţia dintre putere, forţă şi viteză $P = Fv$, pe baza graficului comun al vitezelor şi forţelor se poate trece la determinarea graficului de sarcină al maşinii de lucru.

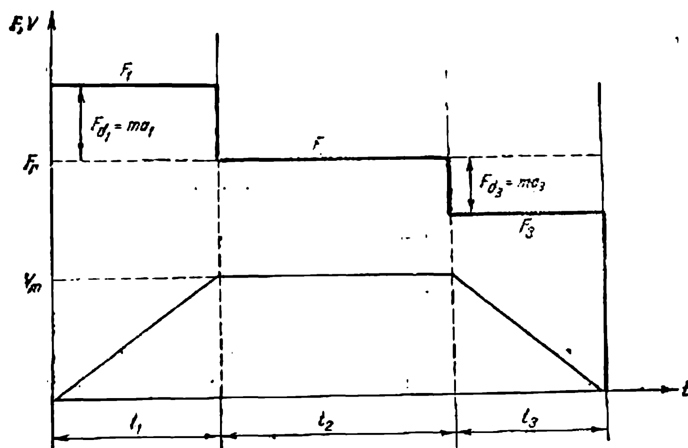


Fig. 3.7. Graficul forţelor şi vitezelor unei maşini de lucru.

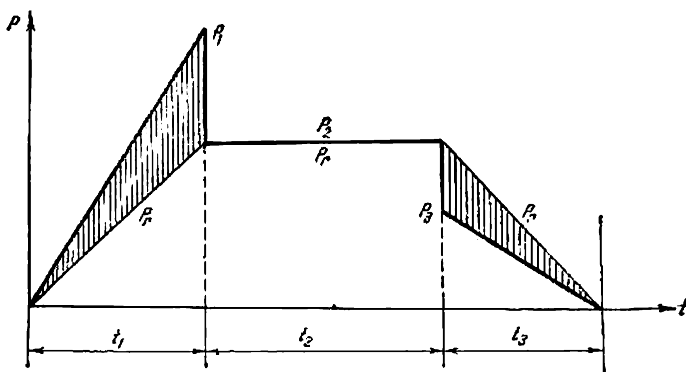


Fig. 3.8. Graficul de sarcină al unei maşini de lucru.

În acest scop, pentru diferite puncte de timp din abscisă, se determină valorile corespunzătoare ale forţei şi vitezei, efectuînd produsele şi marcîndu-le pe graficul de sarcină (fig. 3.8).

Graficul de sarcină al maşinii de lucru arată că la o forţă rezistentă constantă, puterea dezvoltată necesară urmăreşte un grafic similar cu cel al vitezei (trapezoidal).

REZUMAT

Caracteristica mecanică a maşinilor de lucru exprimă dependenţa dintre cuplul static şi una din următoarele mărimi: viteza, unghiul de rotaţie, spaţiul şi timpul. În funcţie de caracteristica mecanică se cunosc cinci grupe de maşini de lucru.

Graficul caracteristicii de sarcină a maşinii de lucru (simplificat) se poate determina din graficele de forţă şi de viteză.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

Un motor antrenează un generator care debitează într-o reţea avînd consumatori cu sarcină rezistivă.
Din ce grupă face parte caracteristica mecanică a motorului?

a — 2; *b* — 3; *c* — 1.

Capitolul 4

CARACTERISTICILE MECANICE ALE MOTOARELOR ELECTRICE

A. CONSIDERAŢII GENERALE

1. CARACTERISTICILE MECANICE ALE MOTORULUI ELECTRIC

Alegerea şi folosirea optimă a motoarelor electrice sînt legate de cunoaşterea parametrilor şi performanţelor acestora.

● În acest scop este necesară cunoaşterea **caracteristicilor mecanice**, precum şi a comportării motoarelor electrice.

Caracteristica mecanică reprezintă *dependenţa turaţiei n* (vitezei de rotaţie) *în funcţie de cuplul motorului M*: $n = f(M)$ sau $\Omega = f(M)$ şi este construită *pentru regimul staţionar al motorului* (fig. 4.1).

Caracteristica naturală este *caracteristica mecanică corespunzătoare parametrilor nominali ai motorului.*

În acţionările electrice este necesară adesea folosirea motoarelor la parametri diferiţi de cei nominali.

Caracteristicile artificiale sînt *caracteristici mecanice obţinute pentru condiţii de funcţionare diferite de cele nominale.* Caracteristicile artificiale se obţin prin modificarea parametrilor motorului sau suprapunerea caracteristicilor a două motoare cuplate mecanic.

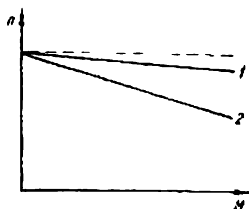


Fig. 4.1. Caracteristici mecanice pentru două motoare de c.c.

● **Caracteristicile mecanice în valori relative.** Parametrii unui motor electric pot fi exprimaţi fie în valori absolute, fie în valori relative raportate la valorile nominale (considerate procentual).

Cu valori relative se pot trasa caracteristici valabile pentru o serie de motoare.

● **Caracteristici mecanice rigide şi suple.** Caracteristicile mecanice la care turaţia se modifică foarte puţin cînd cuplul variază în limite largi se numesc *caracteristici rigide* (fig. 4.1, caracteristica *1*).

Caracteristicile mecanice la care turaţia se modifică mult cînd cuplul variază în limite largi, se numesc *caracteristici suple* (fig. 4.1, caracteristica 2). Comparaţia între două caracteristici, una mai puţin rigidă şi alta mai rigidă, se face prin măsurarea pantei acestora.

2. INDICI DE CALITATE PENTRU ACŢIONĂRI ELECTRICE CU VARIAŢIE DE TURAŢIE

În acţionările electrice este necesară posibilitatea varierii vitezei. Varierea de viteză este caracterizată printr-o serie de indici de calitate.

● **Gama de reglaj** reprezintă raportul între viteza minimă şi cea maximă la care funcţionează un motor electric.

● **Sensul variaţiei vitezei** indică sensul în care se poate varia viteza, considerînd ca reper viteza de mers în gol din caracteristica naturală a motorului electric. Există variaţie *monozonală* şi *bizonală*.

Pentru motoarele asincrone se întîlnesc termenii de variaţie de viteză *subsincronă* sau *suprasincronă*, după sensul de variaţie raportat la viteza de sincronism.

● **Fineţea variaţiei de viteză** este un indice care reprezintă modul în care se face trecerea prin diferitele valori ale variaţiei de viteză. Există variaţie *discontinuă* (în trepte) şi variaţie *continuă* de viteză.

● **Randamentul** instalaţiei pentru variaţia de turaţie apreciază economicitatea diferitelor metode folosite. Acest indice ţine seama de pierderile de energie rezultate.

● **Raportul dintre variaţia turaţiei de mers în gol şi a turaţiei de mers în sarcină** este un indice care se obţine pe baza valorii rigidităţii caracteristicii mecanice.

B. MOTORUL DE C.C. CU EXCITAŢIE SEPARATĂ ŞI CU EXCITAŢIE DERIVAŢIE

1. DATE PRINCIPALE

Se consideră o reţea de c.c. cu tensiunea U. Înfăşurării de excitaţie (statorului) îi este aplicată o tensiune separată U_e, respectiv tensiunea U în conectare derivaţie. Curentul de excitaţie este notat cu i_e. Înfăşurarea de excitaţie este distribuită pe un număr p de perechi de poli, producînd un flux Φ rezultant pe pol.

Indusul (rotorul), care se roteşte cu o viteză de n rot/min, este bobinat cu un număr a de căi de curent, formate din N conductoare care au o rezistenţă proprie R_i.

● *Curentul prin indus* I_a întîlneşte în calea sa atît rezistenţa proprie a indusului, cît şi pe cea a periilor, a înfăşurărilor de compensaţie, precum şi pe a polilor auxiliari; suma acestor rezistenţe este notată cu R_a şi se numeşte **rezistenţa indusului.**

● **Tensiunea electromotoare** E, indusă în înfăşurarea rotorului se exprimă prin relaţia:

$$E = \frac{1}{60} \frac{p}{a} Nn\Phi = C_e n\Phi. \qquad (4.1)$$

Mărimea $C_e = \frac{1}{60} \frac{p}{a} N$ este specifică fiecărui electromotor şi se numeşte *constanta electrică.*

● **Cuplul motorului** M rezultă din interacţiunea cîmpurilor indusului şi de excitaţie şi este dat de relaţia:

$$M = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{p}{a} NI_a\Phi = C_m I_a \Phi, \qquad (4.2)$$

Mărimea $C_m = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{p}{a} N$ este specifică fiecărui electromotor şi se numeşte *constanta mecanică.*

● **Curentul din indusul motorului** este dat de raportul:

$$I_a = \frac{U - E}{R_a}. \qquad (4.3)$$

2. CARACTERISTICILE MECANICE ARTIFICIALE ALE MOTOARELOR DE CURENT CONTINUU CU EXCITAŢIE SEPARATĂ ŞI CU EXCITAŢIE DEVIAŢIE

Din relaţiile (4.1) şi (4.3), turaţia se poate explicita astfel:

$$n = \frac{E}{C_e\Phi} = \frac{U - R_a I_a}{C_e\Phi} = \frac{U}{C_e\Phi} - \frac{R_a I_a}{C_e\Phi} = n_0 - \Delta n, \qquad (4.4)$$

în care:

$n_0 = \frac{U}{C_e\Phi}$ reprezintă viteza în gol ($I_a = 0 \Rightarrow n = n_0$);

Δn este căderea de turaţie.

a. Caracteristici artificiale obţinute prin variaţia tensiunii de alimentare

Din relaţia (4.4) se constată că prin modificarea tensiunii, caracteristicile artificiale obţinute se deplasează paralel cu caracteristica naturală (se modifică numai n_0). În figura 4.2 este prezentată caracteristica artificială *1* obţinută prin reducerea tensiunii sub valoarea nominală U_n.

b. Caracteristici artificiale obținute prin variația rezistenței indusului

Viteza de rotație crește proporțional cu mărimea rezistenței din circuitul rotoric (pentru tensiune de alimentare și flux constante) — v. relația (4.4).

Prin modificarea rezistenței indusului, caracteristicile artificiale se rotesc în jurul punctului n_0, mărindu-și panta odată cu creșterea rezistenței introduse suplimentar în rotor (v. fig. 4.2 — caracteristica artificială *2*).

c. Caracteristici artificiale obținute prin variația fluxului de excitație

Turația variază în raport de inversă proporționalitate cu fluxul (pentru tensiune de alimentare constantă) — v. relația (4.4).

Prin modificarea fluxului, caracteristica se deplasează și se rotește față de caracteristica naturală (fig. 4.3).

d. Caracteristici artificiale ale motorului de c.c. cu excitație derivație obținute prin șuntarea indusului

Șuntarea indusului este o schemă de conectare reprezentată în figura 4.4. Variația turației se obține prin modificarea rezistențelor legate în serie R_s și în derivație R_d.

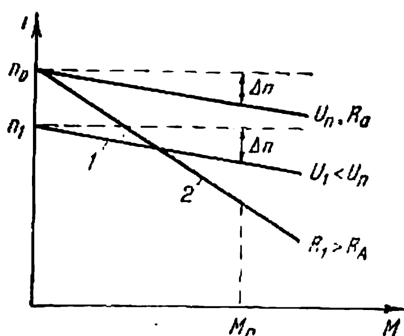


Fig. 4.2. Caracteristici artificiale obținute prin variația tensiunii (*1*) respectiv rezistenței indusului (*2*).

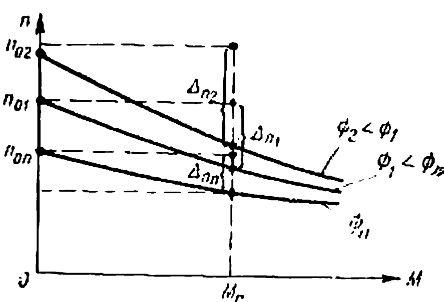


Fig. 4.3. Caracteristici artificiale obținute prin modificarea fluxului.

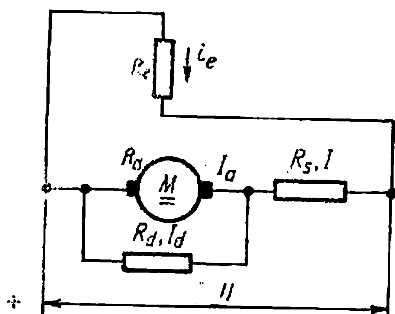


Fig. 4.4. Schemă de acționare cu șuntarea indusului.

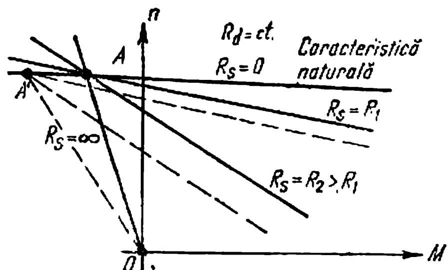


Fig. 4.5. Caracteristici artificiale pentru R_d constantă și R_s variabilă.

Caracteristicile mecanice artificiale care se pot obține sînt reprezentate separat, în figura 4.5 pentru R_d constantă și R_s variabilă, iar în figura 4.6. pentru R_s constantă și R_d variabilă. Reglajul de viteză este monozonal de la viteza nominală spre viteze inferioare.

3. PORNIREA MOTOARELOR DE C.C. CU EXCITAȚIE SEPARATĂ ȘI CU EXCITAȚIE DERIVAȚIE

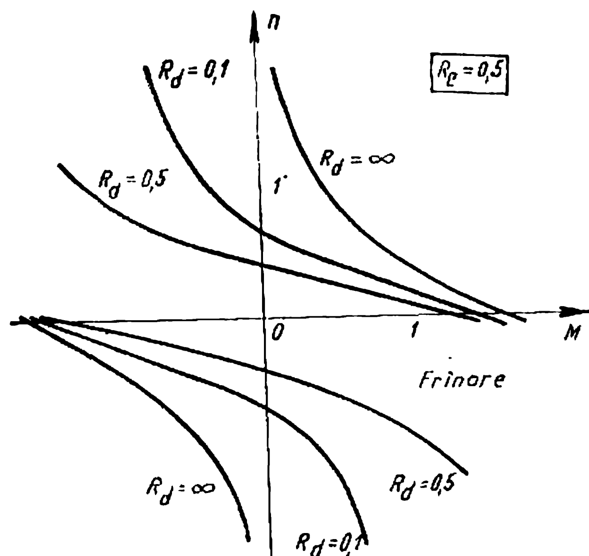


Fig. 4.6. Caracteristici artificiale pentru R_s constantă și R_d variabilă.

Motoarele de c.c. cu excitație separată și derivație se pornesc *cu ajutorul reostatelor de pornire.* Rezistențele reostatului limitează curentul de pornire în domeniul valorilor admisibile pentru regimul termic al motorului și pentru acoperirea cuplului rezistent.

Din ecuația echilibrului electric:

$$U = E + R_i I_a = C_e \Phi n + R_i I_a, \quad (4.5)$$

în care R_i este rezistența indusului, se observă că curentul

absorbit la pornire ($n = 0$) este $I_a = I_p = \frac{U}{R_i}$.

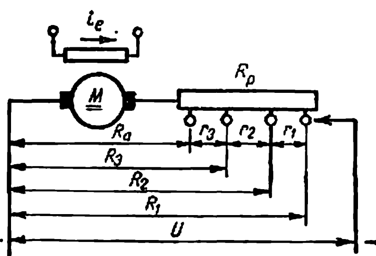


Fig. 4.7. Schema motorului cu excitaţie separată (derivaţie) cu reostat de pornire în circuitul indusului.

Limitarea (mărimii) curentului de pornire se face prin pornirea motorului avînd înseriat în circuitul indusului un reostat R_p (fig. 4.7).

Reostatul se compune din trepte de rezistenţe r_1, r_2, r_3 cărora le corespund valori de turaţie stabile pe caracteristici artificiale.

În figura 4.8 se reprezintă diagrama pornirii în trepte a unui motor cu excitaţie separată sau derivaţie.

În momentul cuplării viteza este nulă, tensiunea electromotoare este de asemenea nulă, rezistenţa indusului este $R_1 = R_a + r_1 + r_2 + r_3$, iar cuplul motor are valoarea maximă.

Motorul porneşte şi funcţionează pe caracteristica artificială *III* pînă în punctul *A* corespunzător vitezei n_1 şi unui cuplu minim M_m (superior cuplului rezistent de sarcină $-M_r$), cînd se scurtcircuitează rezistenţa r_1. În acest fel curentul creşte din nou pînă la valoarea corespunzătoare cuplului maxim (punctul *B*).

Funcţionarea se continuă pe caracteristica artificială *II* şi motorul se accelerează pînă în punctul *C*, corespunzător vitezei n_2, cînd se scurtcircuitează rezistenţa r_2, curentul crescînd din nou pînă la valoarea corespunzătoare cuplului maxim (punctul *D*).

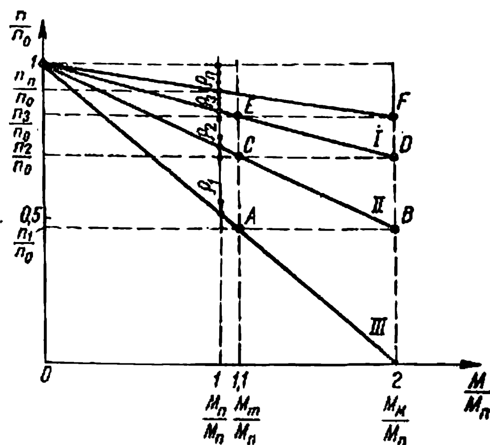


Fig. 4.8. Diagrama pentru calculul grafic al unui reostat cu trei rezistenţe.

Funcţionarea trece pe caracteristica artificială *I*; în punctul *E*, corespunzător turaţiei n_3, se scurtcircuitează rezistenţa r_3.

Motorul trece să funcţioneze pe caracteristica naturală pînă la punctul corespunzător turaţiei nominale şi cuplului rezistent.

Scurtcircuitarea rezistenţelor de pornire se realizează cu contactoare comandate cu relee de timp, sau manual — cu controlere.

a. Calculul rezistențelor de pornire prin metoda grafică

Se pornește de la valoarea cunoscută a parametrilor de bază ai motorului, puterea P_n și turația n_n, cu care se calculează cuplul nominal:

$$M_n = 9\,550 \frac{P_n}{n_n} \text{ [Nm]} \tag{4.6.}$$

Variația cuplului în perioada de pornire se face între cuplul maxim M_M și cuplul minim M_m. Valorile practice ale acestor cupluri se iau astfel: $M_M = (2 \dots 2{,}5)M_n$; $M_m = (1{,}05 \dots 1{,}1)M_n$.

În diagrama din figura 4.8 se fixează valorile calculate pentru M_M, M_m, M_n și n_n, exprimate în valori relative, adică raportate la M_n, respectiv la n_0.

Se trasează caracteristica naturală a motorului trecînd prin n_0 și punctul de coordonate n_n, M_n. Se trasează caracteristica artificială *III* pentru rezistența maximă introdusă în circuitul indusului. Aceasta trece prin n_0 și prin punctul de coordonate M_M, $n = 0$. Se determină grafic viteza $\frac{n_1}{n_0}$ de scurtcircuitare a primei trepte de rezistență (punctul A). Prin punctul B aflat la intersecția dintre n_1 și M_M se trasează următoarea caracteristică artificială, *II*. Se determină viteza $\frac{n_2}{n_0}$ de scurtcircuitare a celei de-a doua trepte de rezistență (punctul C). Prin punctul D aflat la intersecția dintre $n_2 M_M$ se trasează ultima caracteristică artificială, *I*.

În cazul unui reostat cu trei trepte, orizontala care trece prin punctul E trebuie să întîlnească caracteristica naturală în punctul F pe verticala cuplului M_M. În caz contrar, construcția se reia prin alte încercări grafice, variind domeniul $M_M - M_m$.

Rezistențele relative din circuitul indusului sînt proporționale cu mărimea segmentelor măsurate ale căderilor de turație ρ_1, ρ_2, ρ_3.

Rezistențele astfel determinate sînt relative, adică se obțin prin raportarea la rezistența nominală $R_n = \frac{U_n}{I_n}$.

Rezistența internă relativă a motorului fiind:

$$\rho_n = \frac{R_a}{R_n},$$

cu ajutorul valorilor ρ_1, ρ_2, ρ_3, măsurate în raport cu intervalul $0 \dots 1$ de pe axa ordonatelor, luat ca unitate de măsură, se calculează rezistențele reostatului astfel:

$$r_1 = \rho_1 R_n; \quad r_2 = \rho_2 R_n; \quad r_3 = \rho_3 R_n.$$

4. FRÎNAREA MOTOARELOR DE CURENT CONTINUU CU EXCITAŢIE SEPARATĂ ŞI EXCITAŢIE DERIVAŢIE

Alegerea modului de oprire este impusă de condiţiile procesului tehnologic, protecţia muncii, criterii economice şi posibilităţi de realizare. Deosebit de importantă pentru acţionările moderne este frînarea forţată, în care timpul de oprire este redus prin diferite mijloace.

a. Frînarea prin contraconectare (contracurent)

Frînarea cu comutarea polarităţii tensiunii aplicate indusului (fig. 4.9). Un exemplu îl constituie acţionarea unui mecanism de translaţie. În funcţionarea normală sînt închise contactele C_1 şi C_2. La contraconectare C_1 şi C_2 se deschid, iar contactele C_3 şi C_4 se închid, introducînd şi rezistenţa de frînare R_c. Tensiunea U şi cuplul electromagnetic M îşi schimbă sensul. E şi n îşi menţin sensul. U şi E debitează împreună pe rezistenţa din circuitul indusului.

Avantajul metodei îl constituie realizarea unei frînări intense. Dezavantajele constau în consumul de energie nerecuperabilă prin efect termic pe rezistenţe suplimentare şi necesitatea controlării punctului de oprire pentru deconectarea motorului.

b. Frînarea cu recuperarea energiei electrice

Spre exemplu, vehiculele cu tracţiune electrică (locomotive, tramvaie, troleibuze) circulînd pe pante de coborîre, trebuie frînate în modul cel mai economic. La aceasta, în regim de frînare recuperativ conectarea motorului rămîne neschimbată faţă de funcţionarea la mers în linie dreaptă sau la urcarea pantelor.

U, E şi n îşi păstrează sensul.

Regimul recuperativ se obţine prin accelerarea peste turaţia de mers în gol atît pentru valori superioare lui $+n_0$ (conectare directă), cît şi pentru valori inferioare lui $-n_0$ (conectare inversă).

Frînarea controlată prin folosirea treptelor reostatului de pornire şi reglaj este economică.

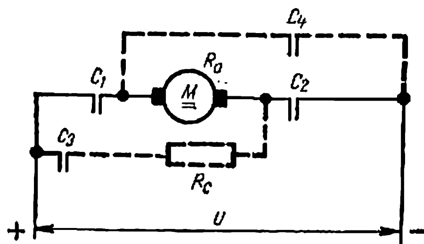


Fig. 4.9. Schemă de contraconectare cu comutarea polarităţii tensiunii aplicate indusului.

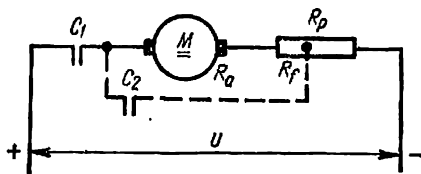


Fig. 4.10. Schema de frînare dinamică.

c. Frînare dinamică

Frînarea dinamică constă în deconectarea motorului de la rețea și închiderea indusului pe o rezistență (fig. 4.10). Ea este utilizată la acționările care necesită o oprire bruscă sau de mare precizie.

În funcționarea normală este închis contactul C_1 și se face o pornire directă sau cu reostatul de pornire în trepte, R_p.

La frînarea dinamică declanșează C_1 și anclanșează C_2, izolîndu-se indusul într-un circuit închis format din rezistența proprie R_a și rezistența exterioară de frînare R_f. Ca rezistență de frînare poate fi folosită o parte din rezistența de pornire și reglaj R_p; tensiunea electromotoare E rămîne inițial neschimbată și datorită inerției continuă să debiteze pe rezistența din circuit.

Frînarea este intensă și precisă.

5. COMANDA VITEZEI MOTOARELOR DE C.C. CU EXCITAȚIE SEPARATĂ (DERIVAȚIE)

Comanda vitezei acestor tipuri de motoare se realizează prin modificarea rezistenței reostatului introdus în circuitul rotoric (v. fig. 4.7) și prin modificarea curentului de excitație (v. fig. 4.3).

Sînt folosite aceleași scheme aplicate și în cazul pornirii.

C. MOTORUL DE C.C. CU EXCITAȚIE SERIE

1. DATE PRINCIPALE

În schema electrică a unui electromotor de c.c. cu excitație serie, alimentarea se face de la rețeaua de c.c. cu tensiune constantă U.

Înfășurarea de excitație avînd rezistența R_e este legată în serie cu înfășurarea indusului. Curentul principal I străbate atît indusul, cît și înfășurarea de excitație.

Fluxul inductor Φ produs de polii motorului de c.c. cu excitație serie este variabil și depinde de mărimea curentului principal.

Ecuaţia echilibrului electric este:

$$U = E + R_a I \qquad (4.7)$$

Tensiunea electromotoare:

$$E = C_e \Phi n \qquad (4.8)$$

este o funcţie de doi parametri, atît fluxul cît şi viteza fiind mărimi variabile. Înlocuind (4.8) în (4.7) se obţine:

$$U = C_e \Phi n + R_a I. \qquad (4.9)$$

Ecuaţia echilibrului mecanic este: $M = C_m \Phi I$, (4.10) C_e şi C_m fiind constantele electrică, respectiv mecanică, ale motorului.

2. CARACTERISTICA NATURALĂ A MOTORULUI DE C.C. CU EXCITAŢIE SERIE

Caracteristica mecanică naturală a motorului de c.c. cu excitaţie serie este dată de constructorul motorului. Curba este o hiperbolă.

Ecuaţia caracteristicii mecanice a motorului serie arată că mărimea cuplului este direct proporţională cu pătratul tensiunii şi invers proporţională cu pătratul turaţiei.

Constructorul motorului ridică la platforma de încercări caracteristicile reprezentate în figura 4.11. Curbele sînt date în valori relative: μ — cuplul; ν — turaţia; i — curentul şi η — randamentul raportate la valorile respective nominale.

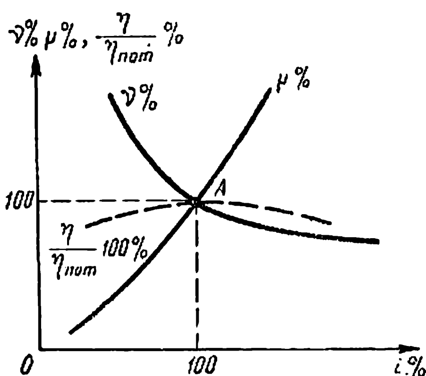


Fig. 4.11. Caracteristicile universale ale motorului de c.c. cu excitaţie serie.

3. CARACTERISTICILE ARTIFICIALE ALE MOTORULUI DE C.C. CU EXCITAŢIE SERIE

Funcţionarea motorului de c.c. cu excitaţie serie pe caracteristici artificiale se obţine introducînd rezistenţe în circuitul indusului. La un curent constant, cuplul şi fluxul sînt de asemenea constante şi viteza este proporţională cu rezistenţa:

$$n = \frac{U - IRa}{C_e \Phi} = f(R_a).$$

În figura 4.12 sînt determinate grafic caracteristici artificiale corespunzătoare introducerii unor rezistențe suplimentare în circuitul indusului. Cu cît rezistența conectată în circuitul indusului este mai mare, cu atît căderea de viteză Δn este mai mare și caracteristica este mai căzătoare.

4. PORNIREA MOTORULUI DE C.C. CU EXCITAȚIE SERIE

Motorul de c.c. cu excitație serie se pornește cu ajutorul reostatului de pornire, ca și motoarele de c.c. cu excitație derivație sau separată.

Treptele de rezistență limitează curentul de pornire și asigură un cuplu minim suficient pentru accelerare.

În toate metodele de calcul, valoarea curentului maxim I_M se limitează la (2 ... 2,5) I_n.

Curentul minim I_m corespunzător cuplului necesar pentru accelerare se consideră (1,5 ... 1,75) I_n.

Calculul rezistențelor de pornire prin metoda grafică

Se pornește de la parametrii nominali ai motorului precum și de la caracteristica naturală N (vezi fig. 4.12) pusă la dispoziție de constructor. Se fixează pe abscisă valorile limită I_m și I_M între care variază curentul din indus.

Proiecția punctului S, respectiv R, pe verticala în R_a constituie primul din cele două puncte necesare trasării dreptelor $I_m = ct$ și respectiv $I_M = ct$.

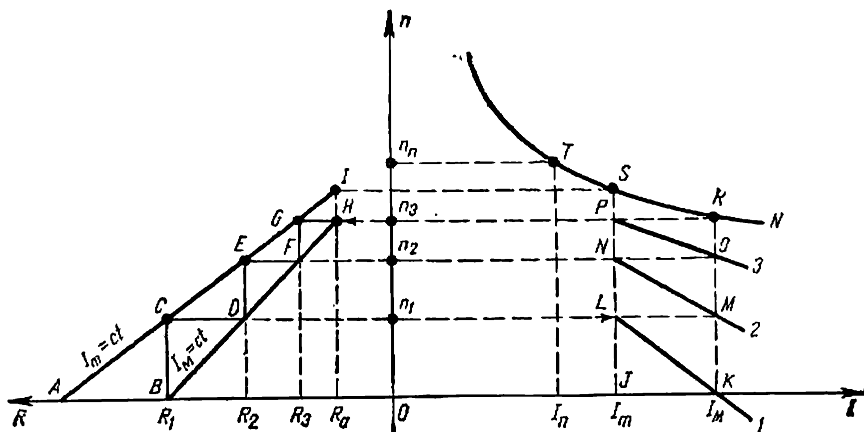


Fig. 4.12. Diagrama de calcul al reostatului prin metoda grafică.

Punctul A, respectiv B, se determină pentru condiția de viteză nulă: rezistența în punctul A este $\frac{U}{I_m}$, iar în punctul B este $\frac{U}{I_M}$.

Se trasează dreapta $I_m = ct$ între punctele A și I, iar dreapta $I_M = ct$ între punctele B și H.

Rezistența R_1 în punctul B este și valoarea rezistenței maxime din circuitul indusului, de la care începe pornirea.

Motorul se accelerează pe caracteristica artificială 1 pînă în punctul C (intersecția lui R_1 cu $I_m = ct$), care se proiectează orizontal în L (segmentul KL), determinînd prima treaptă, în care se scurtcircuitează o primă rezistență a reostatului.

Punctul de funcționare C se transferă în D (respectiv L se transferă în M), la care corespunde o rezistență R_2 în circuitul indusului.

Motorul se accelerează pe caracteristica artificială 2 (segmentul DE, respectiv MN) pînă în punctul E (respectiv N) în care se scurtcircuitează a doua treaptă a reostatului.

La scurtcircuitarea celei de-a treia trepte din punctul G, funcționarea se transferă pe caracteristica naturală N în punctul R și mai departe pînă la T la curentul I_n și turația nominală n_n.

5. FRÎNAREA MOTORULUI DE C.C. CU EXCITAȚIE SERIE

a. Frînarea prin contraconectare

Frînarea se obține prin introducerea rezistențelor în circuitul indusului pentru limitarea curentului în timpul frînării, obținîndu-se caracteristici puternic căzătoare; în acest fel, motorul trece să funcționeze din cadranul I în cadranul IV (fig. 4.13)

Prin introducerea rezistenței R_1, punctul de funcționare trece pe caracteristica 1 de frînare din punctul B corespunzător turației $-n_m$, în punctul C, punctul în care rezistența se reduce la valoarea R_2. Pe caracteristica 2, frînarea se face între punctul D

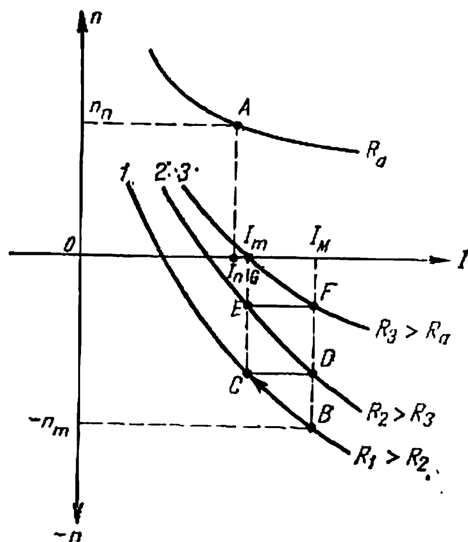


Fig. 4.13. Caracteristicile mecanice la frînare reostatică prin contraconectare a motorului serie.

şi E în care se reduce din nou rezistenţa de la R_2 la R_3. Turaţia devine nulă în punctul G pe caracteristica 3 de frînare, pe care motorul a decelerat din punctul F.

Frînarea prin contraconectare este intensă şi se foloseşte la reversarea unor mase mari în mişcare de rotaţie.

b. Frînarea dinamică

● **Frînarea dinamică cu autoexcitaţie** (fig. 4.14). În funcţionare normală sînt închise contactele C_1, C_3 şi C_5. La frînare contactele C_1, C_3 şi C_5 se deschid, închizîndu-se simultan C_2, C_4 şi C_6. Motorul este deconectat de la reţeaua de alimentare şi debitează ca generator în circuitul format din rezistenţa proprie R_a, rezistenţa de pornire R_p şi o rezistenţă specială de frînare R_f. T.e.m. E rămîne neschimbată, I şi Φ îşi menţin sensul iar I_f îşi schimbă sensul.

Curentul de frînare I_f scade proporţional cu t.e.m. E, care la rîndul său scade proporţional cu micşorarea turaţiei.

Caracteristicile mecanice ale frînării dinamice cu autoexcitaţie sînt situate în cadranul *II*.

Frînarea este intensă, dar lipsită de precizie şi lentă.

● **Frînarea dinamică cu excitaţie independentă** (fig. 4.15) La pornire sînt anclanşate succesiv contactele C_1, C_3 şi C_4, obţinîndu-se accelerarea. La frînare contactele C_1, C_3, C_4 declanşează şi anclanşează C_2. Motorul este deconectat de la reţea şi debitează ca generator pe circuitul format numai din rezistenţa proprie R_a şi rezistenţa de frînare R_f; înfăşurarea de excitaţie R_e este alimentată independent, printr-o rezistenţă de limitare a curentului R_L avînd înseriată şi rezistenţa reostatului de pornire R_p.

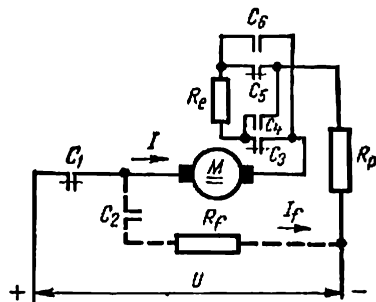


Fig. 4.14. Schema de frînare dinamică cu autoexcitaţie.

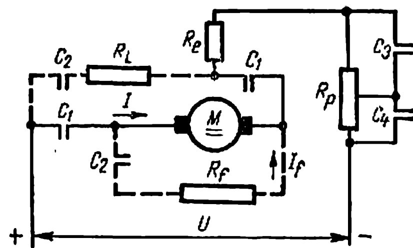


Fig. 4.15. Schemă de frînare dinamică cu excitaţie independentă.

La excitație constantă se obține o caracteristică de frînare dreaptă situată în cadranul *II*, identică cu caracteristica de frînare pentru motorul derivație.

Frînarea este intensă, precisă și rapidă, cu posibilitate de control reostatic.

6. VARIAȚIA TURAȚIEI MOTORULUI DE C.C. CU EXCITAȚIE SERIE

Posibilitățile de variere a turației rezultă din analizarea termenilor expresiei: $n = \frac{U - RI}{C_e \Phi}$

Variația turației se obține prin: modificarea tensiunii de alimentare *U*, schimbarea rezistenței din circuitul indusului *R* și modificarea fluxului inductor.

D. MOTORUL DE C.C. CU EXCITAȚIE MIXTĂ (COMPUND)

1. DATE PRINCIPALE

Pe polii magnetici sînt bobinate două înfășurări care se conectează astfel: *S* în serie și *D* în derivație cu indusul (fig. 4.16).

Înfășurările de excitație pot avea un efect adițional sau diferențial în producerea fluxului motorului.

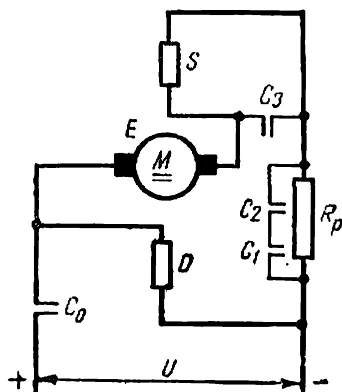


Fig. 4.16. Schema motorului de c.c. cu excitație mixtă (compund).

2. CARACTERISTICA NATURALĂ ȘI CARACTERISTICILE ARTIFICIALE ALE MOTORULUI DE C.C. CU EXCITAȚIE MIXTĂ

Caracteristica naturală a motorului compund (curba *1* din figura 4.17) este rezultanta caracteristicilor motoarelor serie și derivație: o alură de hiperbolă, prelungită pe ramura abscisei cu o dreaptă.

Caracteristica naturală este mai rigidă decît o caracteristică de motor serie și mai suplă decît o caracteristică de motor derivație de aceeași putere.

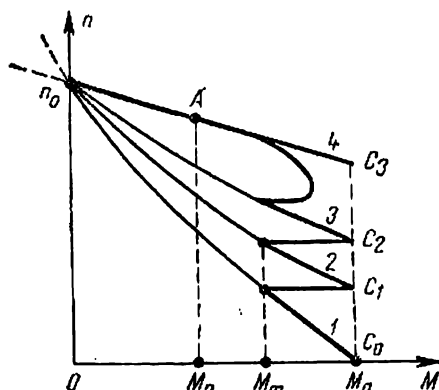


Fig. 4.17. Caracteristicile de pornire ale motorului compund.

Datorită acestor proprietăţi, motorul compund asigură o schemă de pornire cu număr redus de trepte de rezistenţă şi poate fi folosit în funcţie de diagrama de sarcină numai ca motor serie sau numai ca motor derivaţie.

3. PORNIREA ŞI FRÎNAREA MOTORULUI CU C.C. CU EXCITAŢIE MIXTĂ

În schema motorului de c.c. cu excitaţie mixtă (v. fig. 4.16) sînt reprezentate şi contactoarele de pornire C_0, C_1, C_2, C_3.

Pornirea începe pe caracteristica naturală *1*, prin anclanşarea contactorului C_0 (fig. 4.17).

Două caracteristici artificiale *2*, *3* se obţin scurtcircuitînd treptele de rezistenţă ale reostatului de pornire R_p prin anclanşarea contactoarelor C_1, C_2. Prin anclanşarea contactorului C_3, înfăşurarea serie este scurtcircuitată şi motorul devine derivaţie. Funcţionarea se face pe caracteristica *4*. Se observă porţiunea curbă a caracteristicii de pornire între caracteristicile *3* şi *4*, care se datoreşte efectului de amortizare al înfăşurării serie.

La frînare, se şuntează înfăşurarea serie, pentru ca funcţionarea să fie stabilă; astfel caracteristicile opririi sînt aceleaşi ca pentru motorul derivaţie.

E. MOTORUL ASINCRON TRIFAZAT

1. CARACTERISTICA MECANICĂ NATURALĂ

Expresia simplificată a caracteristicii mecanice naturale a motorului asincron este:

$$M = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} \qquad M_k = K_1 \frac{U^2}{f_1^2} \text{ (momentul maxim-critic)}$$

$$s_k = K_2 \frac{R_2^2}{f_1} \text{ (alunecarea critică)}$$

$$s = \frac{n_0 - n}{n} \text{ (alunecarea)}$$

în care: K_1, K_2 sînt constante ale motorului respectiv;

U este tensiunea de alimentare a statorului pe fază;

f_1 — frecvența tensiunii de alimentare;

R_2 — rezistența înfășurării rotorice;

n_0 — turația de sincronism;

n — turația motorului.

Pe baza acestor relații se poate trece la reprezentarea grafică (fig. 4.18) a curbelor $M = f(s)$ și $n = f(M)$.

Întrucît turația și alunecarea sînt două mărimi inverse $n = n_0(1 - s)$, cele două caracteristici au aceeași alură.

Ramurile $OB'C'$ ale caracteristicilor corespund funcționării în regim de generator și nu fac obiectul de studiu al acestui capitol.

Dacă cuplul rezistent la pornire este mai mic decît cuplul de pornire al motorului M_p, atunci motorul poate fi pornit prin alimentarea cu tensiune a statorului, astfel:

— în momentul inițial al pornirii motorul dezvoltă un cuplu M_p;

— motorul pornește, turația crește, deci alunecarea scade și punctul de funcționare al motorului se deplasează din C către B;

— după atingerea valorilor critice în punctul B, cuplul dezvoltat de motor începe să scadă, dar motorul accelerează în continuare (punctul de funcționare se deplasează din B către A);

— în punctul A motorul funcționează la turație și cuplu nominal.

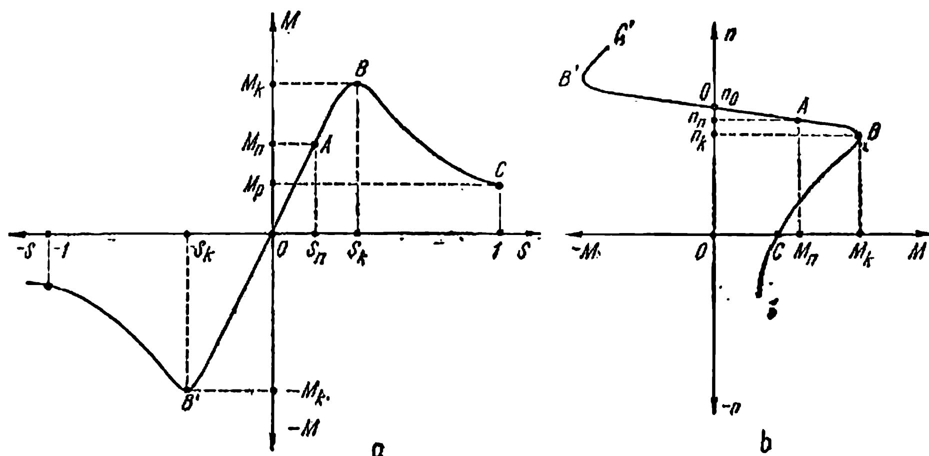


Fig. 4.18. Caracteristicile mecanice ale motorului asincron trifazat:
$a - M = f(s)$; $b - n = f(M)$.

Dacă cuplul rezistent M_r variază în limite mici (datorită frecărilor neuniforme în mecanism etc.), alunecarea variază de asemenea cu valori mici, scăzînd dacă a scăzut M_r sau crescînd dacă a crescut M_r. Rezultă că maşina asigură o funcţionare stabilă la variaţiile mici ale cuplului rezistent. Aceasta se întîmplă bineînţeles numai pe porţiunea ascendentă OB a curbei $M = f(s)$ pe care se găseşte punctul de funcţionare, cealaltă porţiune fiind nestabilă. Într-adevăr, se observă că o creştere a lui M_r pe porţiunea BC, peste valoarea M_k, duce la scăderea cuplului M şi alunecarea motorului creşte pînă la oprirea completă.

Dacă motorul funcţionează normal pe porţiunea stabilă a caracteristicii şi la un moment dat cuplul rezistent îşi schimbă sensul, devenind negativ, rotorul este rotit cu o viteză din ce în ce mai mare şi alunecarea scade. Motorul trece prin punctul O în care $s = 0$, $M = 0$, alunecarea începe să devină negativă, cuplul M devine de asemenea negativ şi maşina începe să lucreze în regim de generator.

2. CARACTERISTICI MECANICE ARTIFICIALE

a. Caracteristici mecanice artificiale obţinute prin modificarea rezistenţelor din circuitul rotoric

Modul cum variază caracteristica mecanică prin introducerea unor rezistenţe suplimentare în circuitul rotoric al motoarelor asincrone cu rotor bobinat, rezultă din relaţia:

$$s_k = \frac{K_2 R_2}{f_1}.$$

Se observă că alunecarea critică creşte odată cu creşterea rezistenţei rotorice.

Cuplul critic M_k nu se modifică prin introducerea rezistenţei suplimentare.

Familia de caracteristici $M = f(s)$ şi $n = f(M)$ este reprezentată în figura 4.19.

Porţiunea dreaptă a caracteristicii se înclină din ce în ce mai mult, pe măsură ce creşte rezistenţa introdusă în circuitul rotorului: $R_2 < R_{21} < R_{22} < R_{23}$.

Se observă că pentru punctul de funcţionare corespunzător cuplului nominal M_n, pe fiecare caracteristică se obţine o altă alunecare, deci o altă turaţie (punctele A, A', A'', A'''). Rezultă posibilitatea modificării turaţiei prin introducerea de rezistenţe în circuitul rotoric, dar gama de variaţie a vitezei este limitată de faptul că la alunecări mari scade foarte

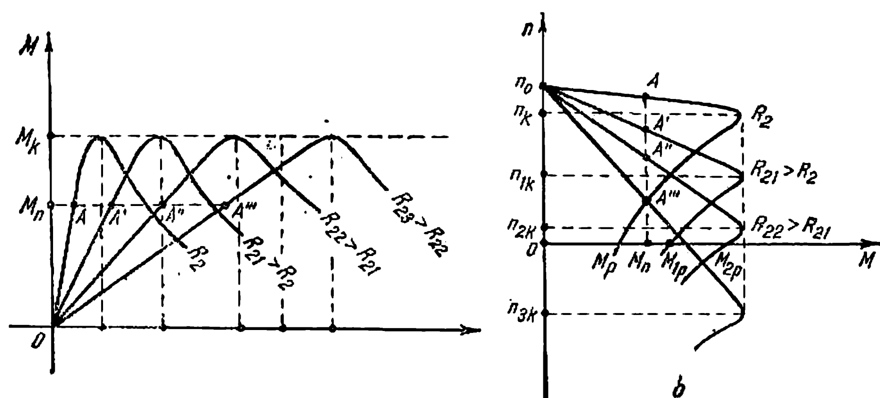


Fig. 4.19. Caracteristici mecanice artificiale ale motorului asincron trifazat, obţinute prin variaţia rezistenţei din circuitul rotoric:
$a - M = f(s)$; $b - n = f(M)$.

mult stabilitatea funcţionării motorului. Într-adevăr, în punctul A''', la variaţii mici ale cuplului rezistent în jurul valorii nominale M_n, apar variaţii mari ale alunecării s.

b. Caracteristici mecanice artificiale obţinute prin varierea tensiunii de alimentare

Modificarea caracteristicii mecanice se face practic prin scăderea tensiunii de alimentare şi rezultă din relaţiile:

$$M_k = K_1 \frac{U^2}{f_1^2};$$

$$s_k = K_2 \frac{R^2}{f_1}.$$

Se observă că cuplul critic scade cu scăderea tensiunii de alimentare, în timp ce alunecarea critică rămîne constantă, reprezentarea grafică a curbelor fiind cea din figura 4.20.

Punctul de funcţionare corespunzător cuplului nominal M_n corespunde unor alunecări, deci unor turaţii diferite pe cele trei caracteristici, deci prin scăderea tensiunii de alimentare se poate varia viteza.

Gama de reglaj este mai redusă decît în cazul rezistenţelor introduse în circuitul rotoric, deoarece se ajunge repede la pragul de tensiune căreia

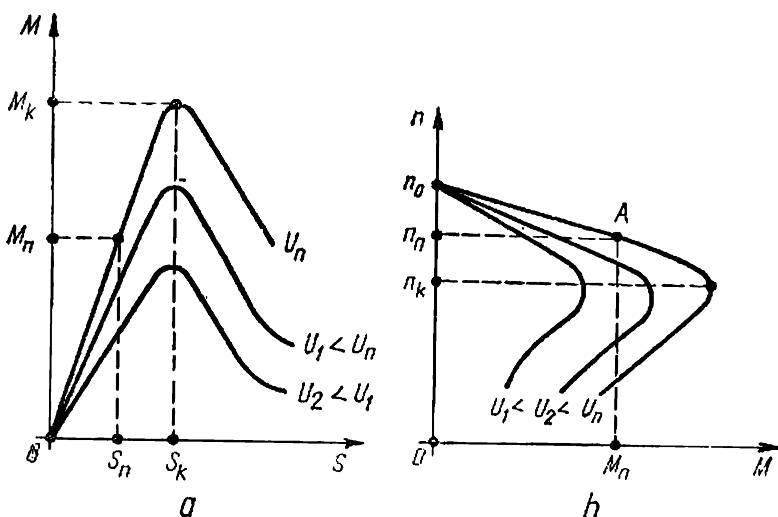


Fig. 4.20. Caracteristici mecanice artificiale ale motorului asincron trifazat, obținute prin variația tensiunii de alimentare:
$a - M = f(s)$; $b - n = f(M)$.

îi corespunde un cuplu maxim mai mic decît cuplul rezistent și motorul se oprește (alunecarea maximă ce se poate obține este, teoretic, s_k).

Stabilitatea caracteristicilor scade, de asemenea, cu scăderea tensiunii de alimentare.

c. Caracteristici mecanice artificiale obținute prin variația frecvenței tensiunii de alimentare

Dacă se iau în considerație relațiile:

$$s_k = K_2 \frac{R_2}{f_1},$$

$$M_k = K_1 \frac{U^2}{f_1^2},$$

se observă că atît alunecarea critică, cît și cuplul critic cresc cînd scade frecvența și scad cînd aceasta se mărește, deosebirea fiind că alunecarea este invers proporțională cu frecvența, iar cuplul critic — cu frecvența la pătrat.

În acelaşi timp, din relaţia cunoscută:

$$n_0 = \frac{60 f_1}{p_1},$$

în care p_1 este numărul de perechi de poli, se observă că turaţia de sincronism este direct proporţională cu frecvenţa.

În figura 4.21 sînt reprezentate caracteristicile $M = f(s)$ şi $n = f(M)$, pe care se observă că, prin scăderea frecvenţei nominale f_1 la valoarea $f_1'' < f_1$, cuplul maxim creşte la valoarea $M_k'' > M_k$ şi turaţia de sincronism scade la valoarea $n_0'' < n_0$. Invers, cînd $f_1' > f_1$, $M_k' < M_k$ şi $n_0' > n_0$.

Variaţia frecvenţei se poate face în ambele domenii, prin alimentarea motorului de la un convertizor de frecvenţă, caracteristicile menţinîndu-şi rigiditatea şi funcţionarea maşinii fiind la fel de stabilă pe oricare din caracteristici.

3. PORNIREA MOTORULUI ASINCRON

a. Pornirea prin introducerea rezistenţelor de pornire în circuitul rotoric

Introducerea rezistenţelor în circuitul rotoric al motoarelor asincrone cu rotorul bobinat permite obţinerea unor caracteristici cu cuplu de pornire mare şi un regim tranzitoriu lin, fără şocuri electrice sau mecanice.

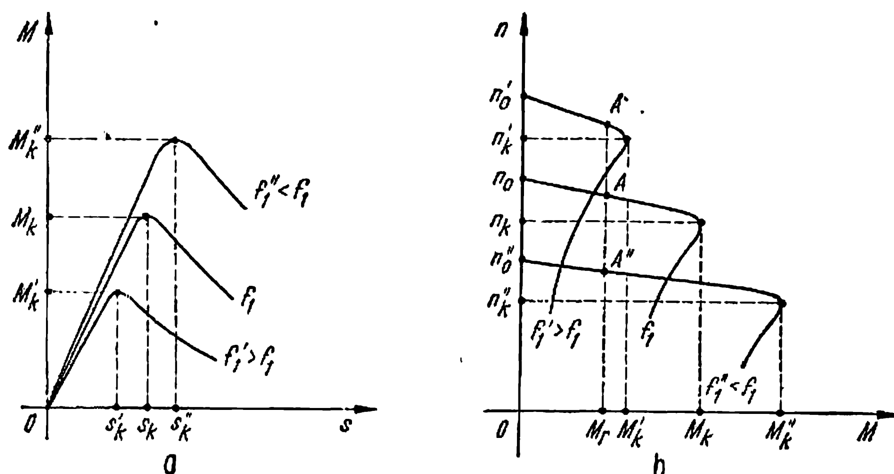


Fig. 4.21. Caracteristici mecanice artificiale ale motorului asincron trifazat, obţinute prin variaţia frecvenţei tensiunii de alimentare:
a — $M = f(s)$; b — $n = f(M)$.

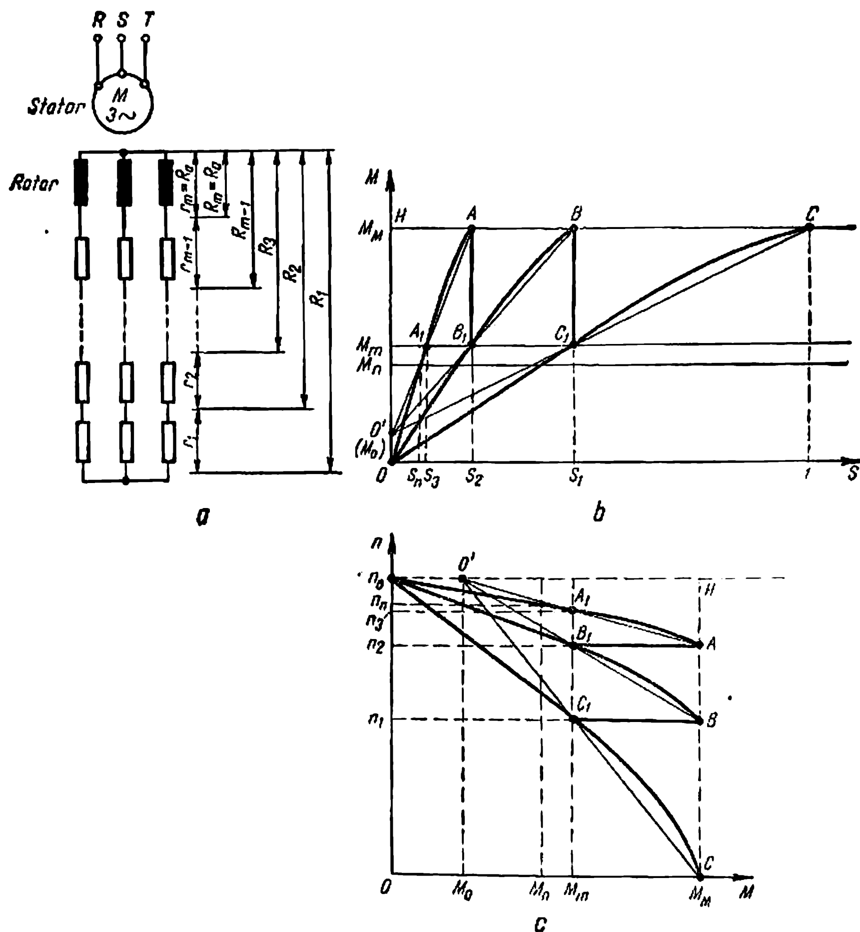


Fig. 4.22. Calculul grafic al rezistențelor rotorice de pornire pentru motorul asincron trifazat:

a — schema treptelor de rezistență introduse în circuitul rotoric pe cele trei faze; *b* — caracteristica de pornire $M = f(s)$; *c* — caracteristica de pornire $n = f(M)$.

După terminarea regimului tranzitoriu, rezistența de pornire se scoate din circuitul rotoric și motorul funcționează pe caracteristica naturală care asigură atingerea turației nominale și stabilitatea turației la modificările cuplului rezistent.

În figura 4.22, *a* este prezentată schema de legare a rezistenței de pornire trifazate în circuitul rotorului, a cărui rezistență pe fază este R_a.

Rezistența de pornire are, într-un caz general, m trepte (concret, s-a considerat $m = 3$) ale căror valori sînt $r_1, r_2 ... r_m$. Rezistența totală înseriată în circuitul indusului are valorile:

$$R_1 = r_1 + r_2 + ... + r_{m-1} + R_a$$
$$R_2 = r_2 + ... + r_{m-1} + R_a$$
$$\vdots$$
$$R_{m-1} = r_{m-1} + R_a$$
$$R_m = R_a$$

Se trasează caracteristica mecanică naturală OA_1A (vezi fig. 4.22, b) și dreptele corespunzătoare cuplurilor M_m, M_M și M_n. Cuplul M_n determină pe caracteristica naturală punctul de funcționare nominal cu alunecarea s_n. Prin punctele A și A_1, corespunzătoare cuplurilor M_M și M_n, se duce o dreaptă care intersectează axa cuplurilor în punctul O'. Se poate demonstra că punctul O' (avînd coordonatele $M = M_0$, $s = 0$) este punctul de concurență al tuturor dreptelor determinate de intersecțiile caracteristicilor artificiale cu dreptele $M = M_m$ și $M = M_M$. Din punctul O' se duce deci dreapta $O'C$ care intersectează dreapta M_n în punctul C_1. Caracteristica artificială care pleacă din punctul O intersectează dreptele M_M și M_n în punctele C și C_1 corespondente rezistenței maxime R_1. Din punctul C_1 se ridică un segment perpendicular pe dreapta M_n, care întîlnește dreapta M_M în punctul B. Dacă prin punctele B și O' se duce o nouă dreaptă, se obține punctul B_1. Caracteristica artificială care trece prin punctele OB_1B corespunde rezistenței R_2 (porțiunea r_2 este scurtcircuitată). Din punctul B_1 se ridică segmentul perpendicular pe dreapta M_n și acesta trebuie neapărat să intersecteze dreapta M_M în punctul A stabilit anterior, pentru ca pornirea să se facă în bune condiții, respectîndu-se limitele M_M și M_m alese. Dacă nu se realizează această corespondență, atunci trebuie să se modifice limitele M_M și M_m în așa fel încît construcția grafică să se închidă în punctul A.

Pe construcția grafică (fig. 4.22, b) astfel întocmită, se poate explica ușor mecanismul pornirii. Astfel, motorul pornește în punctul C, la alunecarea $s = 1$ și cuplul M_M și alunecarea și cuplul scad pe caracteristica artificială corespunzătoare rezistenței R_1 pînă la punctul C_1. În punctul C_1 se scurtcircuitează porțiunea de rezistență r_1 și rămîne în circuit numai rezistența R_2. Cuplul crește brusc de la valoarea M_m la M_M, alunecarea corespunzătoare fiind s_1. Se ajunge astfel în punctul B și de acolo, pe caracteristica corespunzătoare rezistenței R_2 se ajunge la punctul B_1, la $M = M_m$ și $s = s_2$. Se scurtcircuitează porțiunea de rezistență r_2 și în circuit rămîne numai rezistența rotorului R_a. Cuplul crește brusc la M_M în punctul A și apoi scade pe caracteristica naturală, pînă cînd se ajunge la punctul stabil de funcționare $M = M_n$, $s = s_n$.

b. Pornirea prin reducerea tensiunii de alimentare a înfăşurărilor statorice

● **Pornirea cu comutator stea-triunghi.** Comutatorul stea-triunghi este un comutator cu acţionare manuală sau automată, care poate realiza, aşa cum se vede în figura 4.23, o pornire în două trepte de tensiune a motorului asincron cu rotorul în scurtcircuit sau a celui cu rotor bobinat.

Într-adevăr, tensiunea aplicată înfăşurărilor statorului în cazul conexiunii în stea este de $\sqrt{3}$ ori mai mică decît tensiunea de linie, iar în cazul conexiunii în triunghi este egală cu tensiunea de linie.

Acest procedeu de pornire este utilizat la motoare mici şi mijlocii şi este simplu şi ieftin.

Caracteristicile de pornire $M_\Delta = f(s)$ şi $M_Y = f(s)$ sînt reprezentate în figura 4.23, *b*. Se observă că motorul porneşte pe caracteristica $M_Y = f(s)$ şi accelerează pînă în momentul comutării pe conexiunea în stea, în punctul *A*. În acest moment punctul de funcţionare al motorului sare brusc din *A* în *A'* şi motorul continuă să se accelereze pe caracteristica $M_\Delta = f(s)$. Punctul de funcţionare se va deplasa din *A'* către *O* şi se va stabili în funcţie de valoarea cuplului rezistent.

● **Pornirea cu autotransformator de alimentare.** În figura 4.24 este prezentată schema de pornire prin reducerea tensiunii de alimentare cu ajutorul autotransformatorului *AT*. Autotransformatorul este cuplat în schemă la începutul pornirii prin contactorul *A* şi după trecerea unui

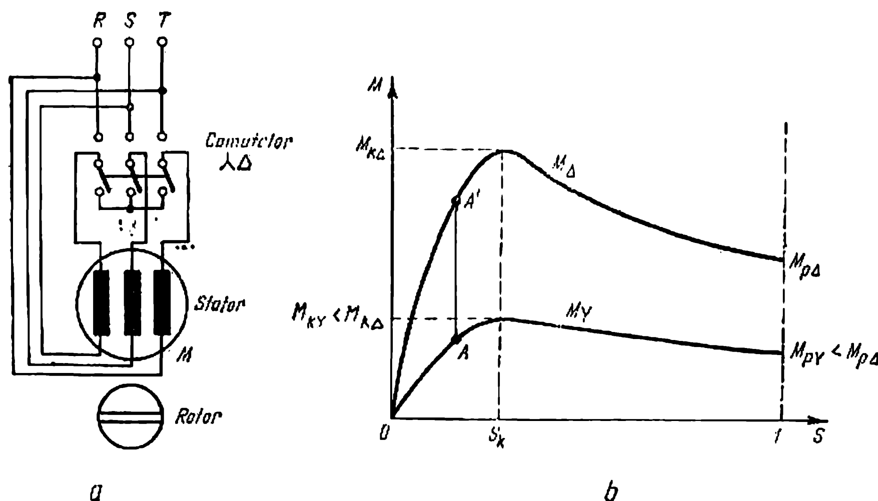


Fig. 4.23. Pornirea cu comutator stea-triunghi a motorului asincron trifazat:
a — schema electrică de pornire; *b* — caracteristici de pornire.

anumit timp, motorul este conectat la rețea direct prin contactorul *L*. Autotransformatorul se deconectează și motorul se accelerează și funcționează la tensiunea nominală.

4. FRÎNAREA MOTORULUI ASINCRON

a. Regimul de generator cu recuperarea energiei în rețeaua de alimentare

Regimul de generator cu recuperarea energiei în rețea realizează de fapt o limitare a vitezei de rotație a mecanismului și apare în mod natural în anumite situații, fără a fi necesar să se ia măsuri speciale.

Un caz tipic este acela al coborîrii sarcinii la podurile rulante. Motorul lucrează în timpul ridicării în regim nominal de motor, dar în timpul coborîrii trece în regim de generator și limitează viteza de coborîre a sarcinii. Aceasta se întîmplă datorită faptului că sarcina tinde să coboare din ce în ce mai repede și antrenează rotorul motorului la viteze mai mari decît viteza nominală.

În figura 4.25 sînt reprezentate caracteristica naturală (R_a) și caracteristica artificială ($R_1 < R_a$). Se vede că punctul de funcționare în regim de motor A, respectiv A', corespunde cuplului rezistent M_r, cuplul fiind pozitiv. La trecerea în cadranul *II* cuplul devine negativ (de frînare) și

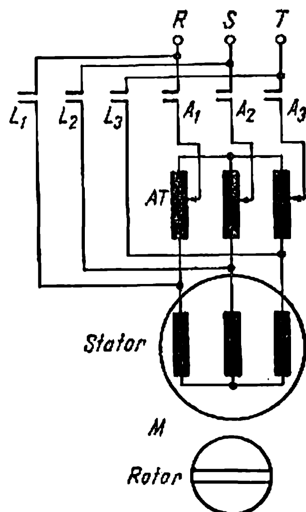


Fig. 4.24. Pornirea cu autotransformator de pornire a motorului asincron trifazat.

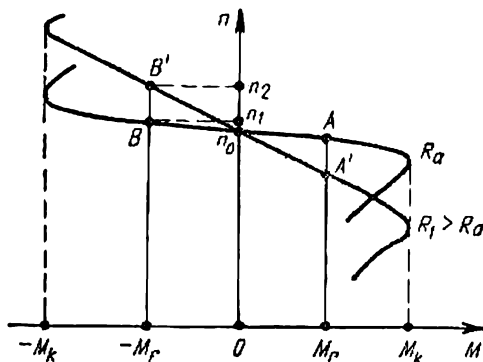


Fig. 4.25. Regimul de frînare cu recuperarea energiei în rețea, al motorului asincron trifazat.

se stabileşte un punct de funcţionare B, respectiv B', corespunzător cuplului de frînare $-M_f$.

Se observă că prin includerea în rotor a unei rezistenţe R_1, punctul de funcţionare în regim de generator se stabileşte la o turaţie $n_2 > n_1$.

b. Regimul de frînare dinamică

În figura 4.26 este reprezentată schema de frînare dinamică a motorului asincron trifazat cu rotorul bobinat.

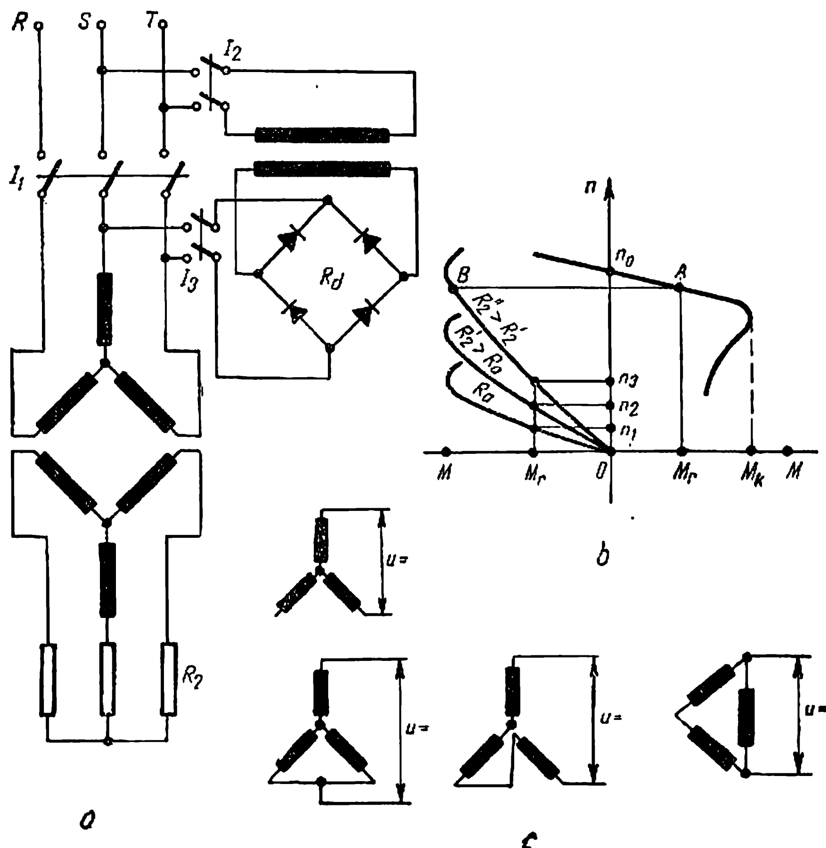


Fig. 4.26. Regimul de frînare dinamică al motorului asincron trifazat:
a — schema electrică de conectare a înfăşurărilor statorice şi rotorice; *b* — caracteristicile de frînare obţinute pentru diferite rezistenţe conectate în rotor; *c* — scheme de conectare a înfăşurărilor statorice în acest regim.

Este important de reținut că *frînarea dinamică se aplică și motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit.*

Motorul asincron se deconectează de la rețeaua de curent alternativ prin deschiderea întreruptorului tripolar I_1 și două faze ale sale se alimentează de la o sursă de curent continuu care constă, în cazul acesta, dintr-un transformator T_r, și un redresor în punte R_d cuplate prin întreruptoarele bipolare I_2 și I_3. Alimentarea cu curent continuu a înfășurărilor statorice se poate face în patru moduri diferite, arătate în figura 4.26, *c*. Rotorul este conectat pe rezistența de frînare R_2.

În momentul executării acestor operații, motorul — deși a pierdut alimentarea de la rețea — continuă să se rotească datorită energiei cinetice înmagazinate de sistem. Se trece în regim de generator sincron cu inductorul fix care induce în rotor curenți de frecvență variabilă, aceștia închizîndu-se pe rezistența R_2.

În figura 4.26, *b* se dau diferite caracteristici de frînare pentru diferite valori ale rezistenței $R_2(R_2'' > R_2', R_2' > R_a, R_a)$. În momentul în care se comandă frînarea, funcționarea se mută din punctul A (cadranul I), în punctul B (cadranul II) și apare cuplul negativ de frînare $-M_f$. Cuplului de frînare $-M_f$ îi corespund valori diferite ale vitezei de rotație pe cele trei curbe:

$$n_3 > n_2 > n_1.$$

Pentru ca frînarea să fie cît mai rapidă, este necesar să se includă în circuitul rotoric o asemenea rezistență (R_2''), încît frînarea să înceapă cu un cuplu de frînare cît mai mare.

c. Regimul de frînare prin contraconectare

● **Contraconectarea prin învîrtirea de către mecanism a rotorului în sens invers față de cîmpul învîrtitor.** În cazul tipic al mecanismului de ridicare a sarcinii la podul rulant, se consideră că motorul funcționează în sensul ridicării și punctul de funcționare A_1 (fig. 4.27) se află pe caracteristica mecanică naturală *1*. Conectînd în rotor o rezistență $R_1 > R_a$, punctul de funcționare corespunzător cuplului rezistent M_r se va deplasa pe caracteristica artificială *2* în punctul A_2. Viteza de rotație va fi mai mică $n_2 < n_1$. Dacă se introduce în circuitul rotoric o rezistență și mai mare $R_2 > R_1$ se poate ajunge în situația în care cuplul motor corespunzător punctului K_3 nu mai poate satisface cuplul rezistent M_r. Agregatul se oprește și începe să coboare, antrenînd rotorul motorului în sens invers, punctul de funcționare stabilindu-se în A_3, cadranul IV. Cuplul dezvoltat de motor în acest punct egalează cuplul rezistent și astfel sarcina continuă să coboare cu viteza n_3.

● **Contraconectarea prin inversarea a două faze statorice**, se poate utiliza atît la motoarele asincrone în scurtcircuit, cît şi la cele cu rotorul bobinat. Rezistenţele pentru limitarea curenţilor mari din timpul frînării se introduc în cazul motoarelor în scurtcircuit în circuitul înfăşurărilor statorice.

Considerînd că motorul funcţionează în punctul A_1, din cadranul *I* (fig. 4.27), în momentul inversării fazelor statorice punctul de funcţionare se mută pe curba *4* paralelă şi simetrică faţă de punctul *O* cu curba *3* (dacă în circuitul rotoric este inclusă aceeaşi rezistenţă $R_2 > R_a$). Cuplul

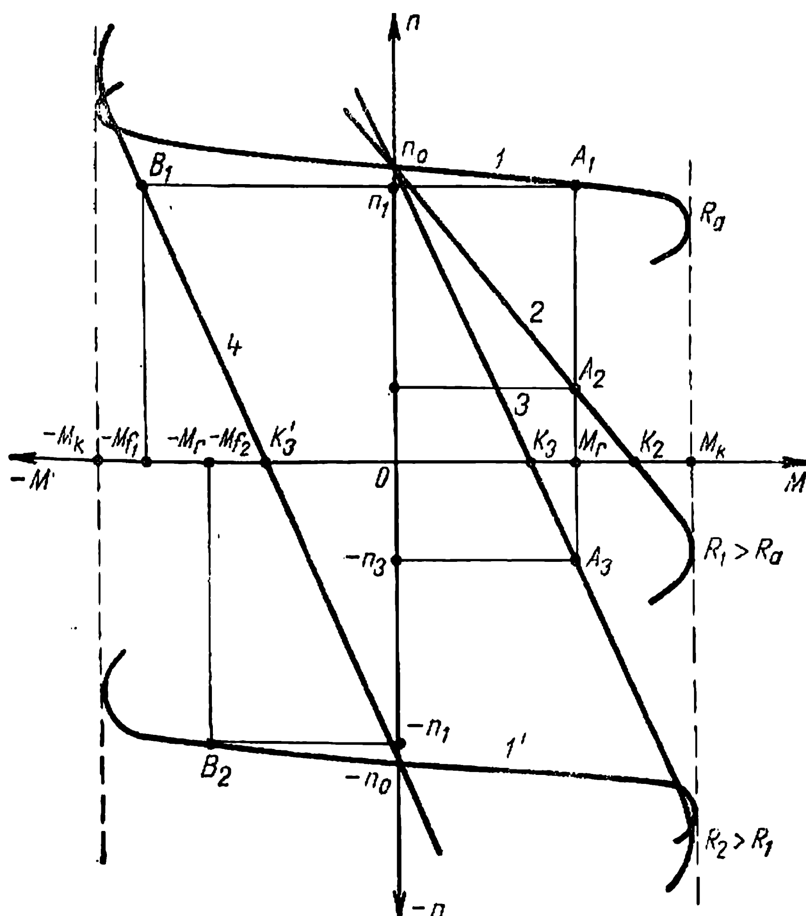


Fig. 4.27. Frînarea prin contraconectare a motorului asincron trifazat.

dezvoltat de motor devine cuplu de frînare, avînd valoarea $-M_{f1}$ în punctul B_1, viteza de rotație scade și ajunge la valoarea zero în punctul K_3.

Se observă că, spre deosebire de frînarea dinamică la care, în momentul opririi motorului, cuplul de frînare se anulează, la frînarea prin contraconectare cuplul își menține o valoare importantă $-M_{f2}$. Din această cauză, frînarea prin contraconectare este mult mai rapidă.

În momentul opririi motorului, este necesar să se facă deconectarea lui de la rețea, lucru care se realizează cu ajutorul unui releu de turație care comandă deconectarea.

5. VARIEREA VITEZEI DE ROTAȚIE

a. Varierea prin schimbarea numărului de poli al înfășurării statorice

Această metodă se aplică la motoarele asincrone în scurtcircuit, special construite pentru a se putea efectua modificări în modul de legare al înfășurărilor statorice.

Se știe că viteza de sincronism a motoarelor asincrone este invers proporțională cu numărul de perechi de poli p:

$$n_0 = \frac{60 f_1}{p}.$$

Rezultă că este posibil ca prin modificarea conexiunilor înfășurărilor statorice din stea în dublă stea sau din triunghi în dublă stea (fig. 4.28) să se obțină viteze de sincronism diferite.

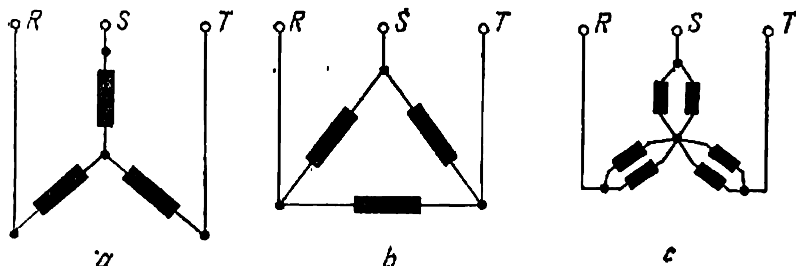


Fig. 4.28. Diferite moduri de legare a înfășurărilor statorice ale motorului asincron trifazat:
a — stea; b — triunghi; c — stea dublă.

Se construiesc motoare cu două sau chiar trei posibilități de legare a înfășurărilor, cărora le corespund două sau trei viteze diferite.

Acest mod de variere a vitezei este foarte economic și se utilizează în toate acționările care necesită numai 2—3 trepte de viteză cu trecere rapidă de la una la alta.

b. Varierea prin modificarea tensiunii de alimentare și a frecvenței

În figurile 4.20 și 4.21 au fost prezentate grafic caracteristicile artificiale obținute prin alimentarea cu tensiune și frecvență variabilă a motorului asincron.

Varierea vitezei prin modificarea tensiunii de alimentare are dezavantajul că cuplul critic, ca și cel de pornire, scad cu pătratul tensiunii. De asemenea, rigiditatea caracteristicii scade cu scăderea tensiunii.

- **Varierea vitezei prin micșorarea frecvenței** are avantajul că se obțin caracteristici rigide, dar are dezavantajul creșterii cuplului critic și de pornire, care sînt invers proporționale cu pătratul frecvenței.

- **Notă.** Dacă se procedează la o micșorare a frecvenței, micșorînd în același timp și tensiunea, se obțin caracteristicile artificiale din figura 4.29. În acest fel se menține o rigiditate suficientă a caracteristicilor, cuplul critic rămînînd constant.

Gama de reglaj în domeniul vitezelor inferioare ajunge pînă la 10 : 1, varierea făcîndu-se în trepte sau continuu și fiind necesar un convertizor de frecvență corespunzător.

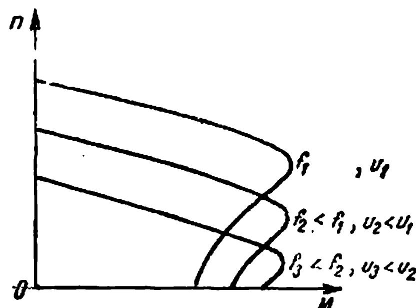


Fig. 4.29. Caracteristicile mecanice artificiale ale motorului asincron trifazat, obținute prin variația simultană a frecvenței și tensiunii de alimentare.

c. Varierea prin modificarea rezistenței din circuitul rotoric

În figura 4.22 s-a arătat posibilitatea varierii vitezei prin introducerea rezistențelor în circuitul rotoric.

Cu cît rezistențele introduse în circuitul rotoric sînt mai mari, viteza scade, gama de reglaj fiind de 3 : 1.

Reglajul nu este continuu, la motoarele de putere mică deoarece

variaţia rezistenţei se poate face numai în trepte. La motoare de puteri mari se folosesc reostate cu lichid, care permit realizarea unui reglaj continuu.

Un alt dezavantaj este acela al pierderii de energie în rezistenţe. Sistemul de reglare a vitezei motoarelor asincrone prin introducerea rezistenţelor în circuitul rotoric este recomandat în cazul mecanismelor care lucrează în regim de scurtă durată sau intermitent.

F. MOTORUL SINCRON

Caracteristica mecanică $n = f(M)$ este reprezentată în figura 4.30 şi este o paralelă la axa cuplurilor, care trece prin punctul n_0 de pe axa vitezelor şi este limitată de cuplurile $-M_{max}$ şi M_{max} la care se produce ieşirea din sincronism a motorului şi deci oprirea lui.

În cazul motorului sincron cu poli înecaţi, valoarea cuplului electromagnetic are expresia:

$$M = M_{max} \sin \theta,$$

unde θ este decalajul între axele polilor cîmpului învîrtitor statoric şi axele polilor de nume contrar ai rotorului.

Cuplul M_{max} este constant şi depinde de caracteristicile reţelei şi ale motorului.

Pentru a fi posibilă pornirea motorului sincron în sarcină şi fără maşini auxiliare, se foloseşte pornirea în asincron.

Rotorul este prevăzut cu o colivie de pornire în asincron, identică cu cea de la motoarele asincrone. Pornirea se face cu înfăşurarea rotorică închisă pe o rezistenţă şi numai în momentul apropierii de viteza de sincronism este alimentată cu curent continuu.

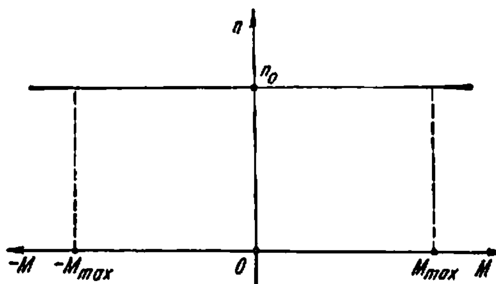


Fig. 4.30. Caracteristica mecanică $n = f(M)$ a motorului sincron.

REZUMAT

Acţionările electrice cu variaţie de viteză se apreciază prin *indici de calitate:* gama de reglaj, sensul variaţiei de viteză, fineţea variaţiei de viteză, variaţia cuplului admisibil în domeniul de variaţie a vite-

zei, randamentul instalației pentru variația de viteză și raportul dintre variația vitezei de mers în gol și a vitezei de mers în sarcină.

Caracteristicile artificiale ale motoarelor de c.c se obțin prin variația următorilor parametri: tensiunea de alimentare, rezistența indusului, fluxul de excitație.

Pornirea motoarelor de c.c. se face pe caracteristici artificiale, cu ajutorul reostatelor de pornire.

Frînarea motoarelor de c.c. se poate obține prin contraconectarea și prin recuperarea energiei.

Caracteristicile mecanice ale motorului asincron
- naturală
  - $M = \dfrac{2M_k}{\dfrac{s}{s_k} + \dfrac{s_k}{s}}$
  - $s_k = K_2 \dfrac{R_2}{f_1}$
  - $M_k = K_1 \dfrac{U_1^2}{f_1^2}$
- artificiale
  - Prin creșterea rezistenței R_2
    - — crește s_k
    - — M_k *constant*
  - Prin scăderea tensiunii U_1
    - — s_k constant
    - — scade M_k
  - Prin variația frecvenței f_1
    - — creșterea frecvenței
      - — scade s_k
      - — scade M_k
    - — scăderea frecvenței
      - — crește s_k
      - — crește M_k

Manevrarea motorului asincron:

- Pornirea
  - — rezistențe rotorice de pornire
  - — reducerea tensiunii
    - — cu comutator stea-triunghi
    - — cu autotransformator
- Frînarea
  - — cu recuperarea energiei în rețea
  - — dinamică
  - — contraconectare
    - — prin rotirea rotorului în sens opus cîmpului învîrtitor
    - — prin schimbarea sensului cîmpului învîrtitor.
- Varierea turației
  - — prin schimbarea numărului de poli
  - — prin variația combinată a tensiunii și frecvenței de alimentare
  - — prin modificarea rezistenței din circuitul rotoric.

Motorul sincron:

— caracteristica $n = f(M)$ rigidă între $-M_{max}$ și $+M_{max}$

— pornirea în asincron.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. Care sînt metodele de obţinere a caracteristicilor artificiale ale motoarelor?
2. Un motor de c.c. derivaţie are curentul de pornire limitat constructiv la 20 A. Se foloseşte o rezistenţă de pornire de 8 ohmi. Rezistenţa indusului este de 3 ohmi. Care este tensiunea nominală a motorului?
3. În ce mod se scurtcircuitează rezistenţele de pornire şi frînare ale unui motor de c.c.?
4. Un reostat de pornire poate fi folosit şi pentru reglarea de viteză?
5. Care este relaţia de legătură între fluxul inductor şi curentul principal la motorul serie?
6. Cum se obţine inversarea sensului de rotaţie la motorul de c.c.?
   a — prin inversarea conexiunilor la indus?
   b — prin inversarea conexiunilor la înfăşurarea de excitaţie?
7. Pentru care valoare a rezistenţei indusului se obţine caracteristica limită a motorului serie?
8. Care sînt cele două posibilităţi de a frîna dinamic un motor serie?
9. Ce sînt cuplul critic M_k şi alunecarea critică s_k?
10. Ce se întîmplă cînd cuplul de pornire Mp este mai mic decît cuplul rezistent?
11. Ce factori pot fi modificaţi pentru obţinerea caracteristicilor artificiale ale motorului asincron?
12. Care sînt avantajele şi dezavantajele caracteristicilor artificiale obţinute prin variaţia rezistenţelor din circuitul rotoric?
13. Dar prin variaţia tensiunii de alimentare?
14. Dar prin variaţia frecvenţei tensiunii de alimentare?
15. Care sînt metodele cele mai cunoscute de pornire a motoarelor asincrone?
16. Cum se realizează regimul de frînare cu recuperarea energiei la motoarele asincrone?
17. Cum variază cuplul de frînare la frînarea dinamică şi la frînarea contracurent a motorului asincron?
18. Care sînt cele două regimuri de contraconectare la motorul asincron şi în ce constau?
19. Ce metode se utilizează pentru varierea vitezei de rotaţie a motorului asincron?

CAPITOLUL 5

REGIMURI TRANZITORII ÎN ACŢIONĂRILE ELECTRICE

A. NOŢIUNI GENERALE

● **Stările stabile.** Motorul electric se poate afla în stare de repaus, de funcţionare pe o anumită treaptă de viteză *n* căreia îi corespund anumite valori ale cuplului *M* şi curentului *i*, sau de funcţionare la parametrii nominali n_n, M_n, I_n. În toate aceste cazuri, motorul se află într-o stare stabilă, staţionară, dacă parametrii luaţi în consideraţie se menţin constanţi.

● **Trecerea dintr-o stare stabilă de funcţionare în alta** are caracter de:

— pornire (atunci cînd se trece de la o viteză inferioară (zero) la una superioară);

— frînare (atunci cînd se trece de la o viteză superioară la una inferioară).

Pornirea şi frînarea motorului nu se fac instantaneu, datorită factorilor care se opun trecerii de la o stare stabilă la alta:

— inerţiile mecanice care se opun accelerării şi decelerării maselor în mişcare;

— inerţiile electromagnetice care se opun variaţiei bruşte a tensiunii în circuitele electromagnetice;

— inerţiile termice care se opun creşterii bruşte a cantităţii de căldură degajate în fierul maşinii şi în înfăşurări.

Pornirea şi frînarea motorului electric sînt deci caracterizate prin procese tranzitorii mecanice, electromagnetice şi termice, în cadrul cărora, într-un anumit interval de timp, viteza, cuplul şi curentul îşi modifică valorile corespunzătoare stării iniţiale, atingînd la sfîrşitul intervalului valorile corespunzătoare stării finale.

Studiul proceselor tranzitorii este foarte important, deoarece permite ca pentru o acţionare dată să se stabilească dacă procesul tranzitoriu respectiv corespunde cu cerinţele acţionării.

● **Cerinţele acţionărilor** sînt multiple şi se amintesc aici cîteva dintre ele:

— timpul de pornire şi frînare să fie cît mai scurt posibil, pentru a elimina timpii morţi în acţionările cu porniri şi frînări frecvente;

— variaţia vitezei la pornire şi frînare să nu fie prea rapidă pentru a nu se atinge valori inadmisibile ale acceleraţiilor şi deceleraţiilor;

— cuplul de pornire şi frînare să nu atingă valori inadmisibile din punct de vedere mecanic;

— curentul de pornire şi frînare să fie menţinut între limite care nu pot crea şocuri dăunătoare în reţea şi nu pot duce la încălzirea exagerată a motorului.

B. PROCESE TRANZITORII ALE ACŢIONĂRILOR CU MOTOARE DE CURENT CONTINUU

În acest paragraf se va studia procesul tranzitoriu electromecanic din timpul pornirii motorului derivaţie de curent continuu.

Pornind de la ecuaţia fundamentală a mişcării:

$$M = M_d + M_r,$$

$$M = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} + M_r$$

şi ţinînd seama că la motorul derivaţie de curent continuu cuplul este proporţional cu curentul tranzitoriu i prin circuitul indusului:

$$M = C_m \Phi i = C'_m i,$$

se poate scrie:

$$C'_m i = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} + M_r. \quad (5.1)$$

În acelaşi timp se poate scrie ecuaţia echilibrului electric pentru motorul derivaţie de curent continuu:

$$U = E + Ri = C_e \Phi n + Ri$$

$$U = C'_e n + Ri \quad (5.2)$$

Dacă se deduce expresia lui i din relaţia (5.1) şi se introduce în relaţia (5.2), se obţine:

$$\frac{U}{C'_e} = n + \frac{GD^2 \cdot R}{375 C'_e C'_m} \cdot \frac{dn}{dt} + \frac{R}{C'_e C'_m} M_r.$$

În această ecuaţie se introduce viteza ideală de mers în gol:

$$n_0 = \frac{U}{C'_e}$$

şi se notează:

$$\frac{GD^2 \cdot R}{375 C'_e C'_m} = T; \qquad (5.3)$$

$$\frac{R}{C'_e C'_m} M_r = \Delta n_r.$$

Ecuaţia devine:

$$n_0 = n + T\frac{dn}{dt} + \Delta n_r. \qquad (5.4)$$

În această ecuaţie diferenţială de gradul întîi n_0 este viteza ideală de mers în gol, n — viteza de rotaţie la un moment dat, T — constanta electromecanică, iar Δn_r — căderea de viteză datorită cuplului rezistent. Termenul $T\frac{dn}{dt}$ reprezintă căderea de viteză datorită cuplului dinamic.

Constanta electromecanică T conţine atît elemente electrice (C'_e, R), cît şi elemente mecanice (C'_m, GD^2), are dimensiunile unui timp şi se mai numeşte şi *timpul specific de accelerare.*

● **De reţinut**: Procesul tranzitoriu de creştere a vitezei este determinat de constanta electromecanică T. Cu cît aceasta este mai mare, căderea de viteză datorită cuplului dinamic este mai mare şi pornirea se face mai greu.

Prin rezolvarea ecuaţiei (5.4) se obţine:

$$n = n_r + (n_i - n_r)e^{-\frac{t}{T}} \qquad (5.5)$$

aceasta fiind legea exponenţială de variaţie a vitezei în timpul pornirii motorului de curent continuu derivaţie de la viteza iniţială n_i.

$$n_r = n_0 - \Delta n_r$$

reprezintă valoarea de regim a vitezei motorului, care se obţine la sfîrşitul procesului tranzitoriu.

Practic, în cazul pornirii din starea de repaus, după trecerea unui timp $t = 4T$;

$$n = n_r(1 - e^{-\frac{4T}{T}}) = 0{,}98 n_r,$$

deci viteza de rotaţie este foarte apropiată de valoarea de regim.

În figura 5.1 este reprezentată grafic variația vitezei în timpul pornirii.

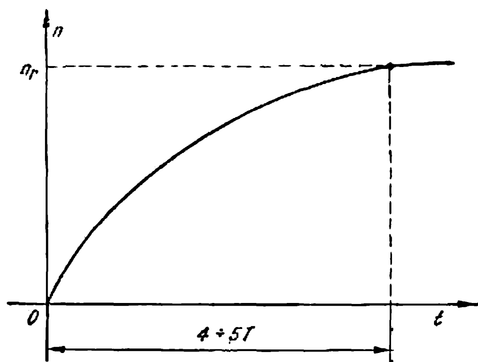


Fig. 5.1. Variația vitezei de rotație n în timpul pornirii motorului derivație de curent continuu.

În figura 5.2 este reprezentată grafic variația vitezei în cazul pornirii cu rezistență de pornire cu trei trepte: R_1, R_2, R_3.

Pe prima treaptă de pornire, de la timpul zero la t_1, în circuitul indusului este inclusă rezistența R_1 și constanta electromecanică are valoarea maximă:

$$T_1 = \frac{GD^2 \cdot R_1}{375\, C_e' C_m'}.$$

Constanta electromagnetică fiind mare, atingerea vitezei de regim n_r ar necesita un timp îndelungat, dar în momentul t_1, la valoarea n_1 a vitezei, se scurtcircuitează o parte din rezistență și în circuit rămîne inclusă rezistența R_2 mai mică. Constanta electromecanică T_2 este și ea mai mică și viteza crește mai repede. În momentul t_2 se scurtcircuitează din nou o parte din rezistență și rămîne în circuit rezistența R_3, constanta electromecanică fiind T_3. În momentul t_3 se scurtcircuitează întreaga rezistență de pornire și constanta electromecanică are valoarea cea mai mică:

$$T_a = \frac{GD^2 \cdot R_a}{375\, C_e' C_m'}.$$

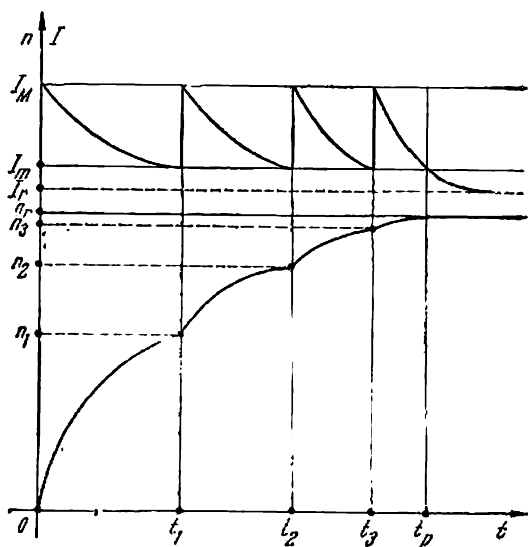


Fig. 5.2. Variația vitezei de rotație n și a curentului I în timpul pornirii cu rezistență în trei trepte, luînd în considerație numai regimul tranzitoriu electromecanic.

Pe curba exponenţială caracterizată de această constantă electromecanică, viteza creşte, tinzînd să atingă valoarea de regim n_r.

Prin folosirea rezistenţelor de pornire s-a mărit timpul de pornire total, datorită măririi constantelor electromecanice, dar s-a asigurat o pornire lină, cu acceleraţii şi curenţi în limitele admisibile.

În figura 5.2 este arătată, de asemenea şi variaţia curentului absorbit de indusul motorului în timpul pornirii, între limitele I_M şi I_m, corespunzătoare cuplurilor M_M şi M_m pe baza cărora s-au calculat rezistenţele de pornire.

Variaţia în timp a curentului este exprimată printr-o relaţie similară celei determinate pentru viteză:

$$i = I_r + (I_i - I_r)e^{-\frac{t}{T}} \tag{5.7}$$

Deosebirea constă în faptul că turaţia creşte, iar curentul scade după nişte curbe exponenţiale corespunzătoare treptelor de pornire, tinzînd asimptotic către valoarea de regim I_r.

C. PROCESE TRANZITORII ALE ACŢIONĂRILOR CU MOTOARE ASINCRONE

Variaţia în timp a vitezei de rotaţie, cuplului şi curentului sînt mai dificil de determinat, deoarece necesită rezolvarea unor ecuaţii de echilibru electric şi mecanic de o formă complexă.

În acest caz, este necesar ca să se apeleze şi la metode grafice sau grafoanalitice.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. Ce factori se opun trecerii motorului de la o stare stabilă la alta şi care este efectul lor?
2. Ce fenomene dăunătoare se evită din studiul proceselor tranzitorii şi aplicarea măsurilor corespunzătoare?
3. De la ce ecuaţii porneşte calculul regimului tranzitoriu din timpul pornirii motorului derivaţie de curent continuu?
4. Ce factori influenţează constantele electromecanice de timp şi cum se poate acţiona asupra lor?

CAPITOLUL 6

ALEGEREA MOTOARELOR ELECTRICE DE ACŢIONARE

A. CRITERII CARE STAU LA BAZA ALEGERII MOTOARELOR ELECTRICE DE ACŢIONARE

Fiecare maşină de lucru are o caracteristică mecanică determinată printr-un grafic de sarcină.

Asigurarea productivităţii maşinii de lucru în condiţii economice şi a calităţii produsului sînt condiţionate de asigurarea unui motor de acţionare cît mai potrivit condiţiilor care îi sînt impuse.

Proiectantul determină tipul de motor, cu o caracteristică mecanică care satisface optim o anumită acţionare.

Regimul de funcţionare propriu maşinii de lucru constituie un factor de bază în determinarea alegerii celui mai potrivit motor de acţionare. Puterea motorului ales trebuie să fie cît mai apropiată de puterea necesară. Reductoarele introduc pierderi suplimentare de a căror compensare se ţine seama la dimensionarea puterii motorului.

La aceeaşi putere, *gabaritul* şi *costul* motorului sînt cu atît mai scăzute cu cît viteza nominală este mai mare.

Parcurgerea integrală a tuturor criteriilor de alegere, cunoaşterea tuturor cerinţelor procesului tehnologic şi încadrarea acestuia în ansamblul economic, permit alegerea corectă a motoarelor electrice pentru acţionarea maşinilor de lucru.

B. REGIMURI DE FUNCŢIONARE

Funcţionarea motoarelor electrice se clasifică în regimuri tip după modul în care este atins echilibrul termic.

Una dintre caracteristicile de bază înscrise pe plăcuţa motorului este *regimul nominal de funcţionare* pentru care a fost construit. Cele mai importante regimuri de funcţionare sînt:

• **Regimul continuu** *(de lungă durată)* *RC* se caracterizează printr-o funcţionare cu o durată suficientă ca echilibrul termic să fie atins. Temperatura maximă este atinsă la echilibru, după care motorul funcţionează continuu fără ca temperatura să mai crească.

• **Regimul de scurtă durată RSD.** În acest regim, durata de funcţionare la puterea nominală este mai mică decît durata necesară ca echilibrul termic să fie atins. La timpul t_k (fig. 6.4) motorul se opreşte şi urmează un repaus suficient de lung ca temperatura iniţială θ_0 să fie restabilită. Se fabrică electromotoare standard pentru durate de funcţionare de 10, 30, 60 şi 90 min.

• **Regimul intermitent** *RI* prezintă cicluri de funcţionare care nu depăşesc 10 min şi care se repetă identic în toate fazele: încărcare, mers în gol, pornire, frînare şi repaus (vezi fig. 6.5).

Raportul în procente dintre durata încărcării şi durata totală a unui ciclu se numeşte *durată relativă de lucru* şi se notează *DA*.

Se fabrică electromotoare pentru *DA* 15%, 25%, 40%, 60%.

C. ALEGEREA ŞI VERIFICAREA MOTORULUI ÎN FUNCŢIE DE ÎNCĂLZIRE

1. ÎNCĂLZIREA MOTORULUI ELECTRIC

Încălzirea motoarelor electrice este determinată de pierderea de energie. Pierderile mecanice sînt produse de frecări de lagăre şi de ventilaţie. Pierderile în fier sînt produse de variaţia fluxului în circuitele magnetice. Pierderile rezistive se produc în înfăşurări. Pierderile se transformă în căldură şi temperatura părţilor componente ale motorului se ridică.

La început, căldura produsă de pierderi determină încălzirea motorului. Treptat, o parte din căldură din ce în ce mai mare se transmite mediului înconjurător pînă ce se obţine echilibrul termic.

Echilibrul termic se consideră atins după încălzirea motorului la valoarea admisibilă, restul căldurii produse transmiţîndu-se mediului înconjurător.

În figura 6.1 este reprezentată grafic ecuaţia creşterii de temperatură θ în funcţie de timp, $\theta = \theta_0(1 - e^{-\frac{t}{T}})$. Echilibrul termic este atins

la θ_{max}. T se numeşte constanta de timp a încălzirii. Tangenta în orice punct al curbei şi verticala în acelaşi punct determină pe dreapta $\theta = \theta_{max}$ valoarea constantei de timp T.

Echilibrul termic este atins la maşinile de putere mică sau cu ventilaţie forţată după 2—3 ore, la maşinile cu puteri mijlocii şi mari, după 4—8 ore iar la maşinile închise, după 7—12 ore.

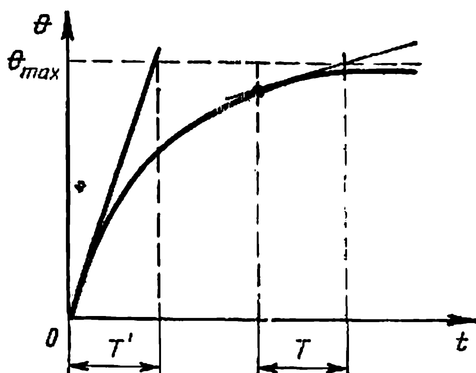


Fig. 6.1. Reprezentarea grafică a ecuaţiei creşterii de temperatură.

2. DETERMINAREA PUTERII MOTORULUI ÎN REGIM DE LUNGĂ DURATĂ (RC) CU SARCINĂ CONSTANTĂ

Într-un asemenea regim lucrează motoarele benzilor transportoare, pompelor, ventilatoarelor.

Se cunosc: cuplul rezistent M_r, raportul transmisiei i şi randamentul η. Se calculează cuplul nominal $M_n = M_r \frac{1}{i} \cdot \frac{i}{\eta}$ şi puterea nominală necesară la turaţia n_n a motorului $P_n = \frac{M_n n_n}{9\,550}$ în care cuplul este exprimat în Nm.

Se alege din catalog un motor RC cu puterea imediat superioară sau egală lui P_n.

3. DETERMINAREA PUTERII MOTORULUI ÎN REGIM DE LUNGĂ DURATĂ (RC) CU SARCINA VARIABILĂ ÎN TREPTE

În regim de lungă durată cu sarcina variabilă în trepte lucrează, de exemplu, motoarele maşinilor-unelte de prelucrare a metalelor.

În diagrama de sarcină din figura 6.2, motorul electric funcţionează pe duratele de timp $t_1 \ldots t_5$, la diferite sarcini $P_1 \ldots P_5$, cărora le corespund pierderile $Q_1 \ldots Q_5$.

Dimensionarea motorului pentru a face faţă unei încărcări continue la sarcina cea mai mare, de exemplu, P_2, conduce la supradimensionare; în intervalele t_1, t_3, t_4 şi t_5 motorul fiind încărcat la puterile P_1, P_3, P_4 şi

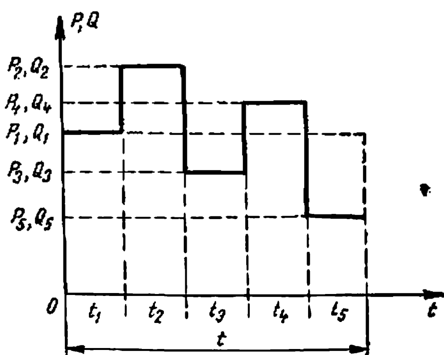


Fig. 6.2. Diagrama de sarcină pentru regim de lucru continuu cu încărcare variabilă în trepte.

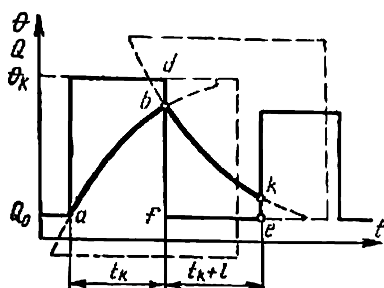


Fig. 6.3. Folosirea şablonului.

P_5 mai mici decît P_2, înseamnă că va fi folosit neraţional. Dimensionarea motorului pentru a face faţă unei încărcări continue la P_5 conduce la subdimensionare.

● **Determinarea puterii motorului prin calcul.** Pentru fiecare interval de timp se calculează pierderile de putere P şi cantitatea de căldură dezvoltată Q.

Din cantităţile de căldură rezultă supratemperaturile θ care se acumulează începînd de la temperatura mediului ambiant θ_i presupusă zero.

● **Determinarea puterii motorului pe cale grafică.** După cum s-a arătat în § *C1*, fiecărui motor îi este caracteristică o constantă de timp a încălzirii T şi un timp necesar pentru a ajunge la echilibru termic. Cu aceste date specifice motorului ales, se construieşte un şablon, reprezentat cu linie întreruptă în figura 6.3, care permite trasarea rapidă a porţiunilor din curba supratemperaturilor *ab*, *bk*, ...

Şablonul foloseşte atît pentru încălzire, cît şi pentru răcire, conform indicaţiilor din figura 6.3, în care t_k este un interval de timp ciclu, t_{k+1} — intervalul de timp următor, iar θ_k este supratemperatura corespunzătoare lui t_k.

● **Verificarea încălzirii motorului prin metoda curentului echivalent.** Această metodă este sigură şi de aceea este cel mai mult folosită în practică. Raţionamentul prin care se lucrează cu curentul echivalent în locul pierderilor echivalente este următorul: dacă se separă pierderile echivalente şi suma pierderilor treptelor în constante şi variabile, toate pierderile constante sînt egale între ele şi se reduc, deci pierderile variabile echivalente sînt egale cu suma pierderilor variabile ale treptelor.

Pierderile variabile fiind proporţionale cu pătratul curentului

$\Delta P_{var} = kI^2R$, rezultă că:

$$I_e^2 = \frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots}{t_1 + t_2 \dots}$$ şi curentul echivalent este:

$$I_e = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots}{t}}$$

● **Verificarea încălzirii motorului prin metoda cuplului sau puterii echivalente.** Pentru multe utilaje, diagramele în sarcină se cunosc în funcţie de cuplurile sau puterile cerute la arborele motor.

Cuplul echivalent se obţine din relaţia curentului echivalent făcînd înlocuirile necesare:

$$M_e = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + \dots}{t}}$$

Metoda cuplului echivalent nu se poate aplica la motoarele de curent continuu cu flux variabil.

Puterea echivalentă se obţine din relaţia cuplului echivalent, făcînd înlocuirile necesare:

$$P_e = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + \dots}{t}}.$$

4. *Determinarea puterii motorului în regim de scurtă durată (RSD)*

În regim de scurtă durată *(RSD)*, timpul de funcţionare t este astfel limitat încît în timpul de repaus t_0 temperatura revine la valoarea iniţială.

În figura 6.4 este reprezentată diagrama pierderilor Q şi a supratemperaturilor θ în *RSD*.

Exemple de motoare care lucrează în *RSD* sînt cele ale polizoarelor.

Funcţionarea la timpul activ t_k, conduce la încălzirea Q_k şi la supratemperatura θ_k. În practică se constată că timpul activ t_k este mai mic decît $3T_a$, unde T_a este constanta de

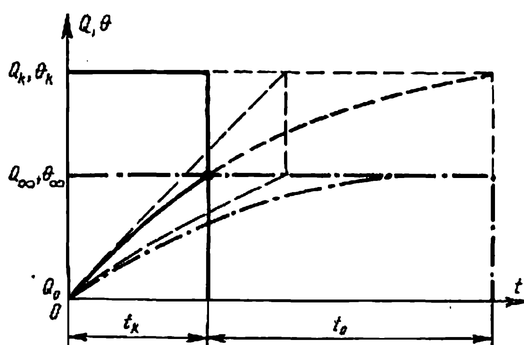


Fig. 6.4. Diagrama pierderilor şi supratemperaturilor în *RSD*.

timp a încălzirii iar t_0 este mai mare decît $4T_0$ (unde T_0 este constanta de timp a răcirii motorului).

Pentru regimul *SD* se pot folosi atît motoare construite pentru *RC* cît și motoare construite special pentru *RSD* avînd durate de funcționare standard de 10, 30, 60 și 90 min.

5. DETERMINAREA PUTERII MOTORULUI ÎN REGIM INTERMITENT (RI)

În regim intermitent se repetă identic cicluri de cel mult 10 min, în care timpul de funcționare nu permite atingerea echilibrului termic, după cum timpul de repaus nu permite redobîndirea temperaturii inițiale.

În figura 6.5 este reprezentată o diagramă ideală de sarcină în *RI*.

Pe curba *1*, pornind de la temperatura mediului ambiant, se observă creșterea supratemperaturii θ pînă la echilibru. Pe curba *2* se observă oscilația supratemperaturii θ_{max} pe durata de încărcare t_a și θ_{max} pe durata repausului t_r.

Supratemperatura maximă θ_{stA} s-ar obține lucrînd în regim continuu cu puterea P_∞ și Q_∞.

În acest fel se poate determina o echivalență între o sarcină în regim intermitent și una în regim continuu.

Legătura dintre supratemperaturile maxime θ_{stA} și θ_{max} este dată de relația:

$$\theta_{stA} = \theta_{max}\left(1 + \frac{t_0}{t_a} \cdot \frac{T_0}{T}\right) = \theta_{max}\left(1 + \frac{1}{\beta}\,\frac{t_0}{t_a}\right).$$

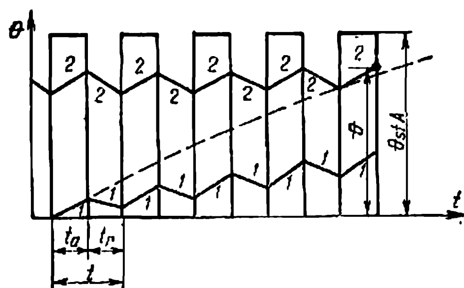


Fig. 6.5. Diagrama ideală de sarcină în regim intermitent.

Raportul constantelor de timp a încălzirii și răcirii se numește factorul de corecție pentru răcire și este subunitar.

$$\beta = \frac{T}{T_0} < 1.$$

● **Determinarea duratei active relative de lucru.** În diagrama reală de sarcină intermitentă (fig. 6.6, *a*), ciclul integral este t_c. Durata t_c este mai mică decît 10 min.

Timpul de lucru t_a însumează timpii de încărcare, iar t_0, toţi timpii de repaus:

$$t_a = t'_a + t''_a + t'''_a; \quad t_0 = t'_0 + t''_0 + t'''_0.$$

Durata activă relativă de lucru este exprimată prin relaţia:

$$DA[\%] = \frac{t_a}{t_a + t_0} 100 = \frac{t_a}{t_c} 100.$$

Din diagrama reală din figura 6.6, *a*, rezultă:

$$DA[\%] = \frac{t'_a + t''_a + t'''_a}{t'_a + t''_a + t'''_a + t'_0 + t''_0 + t'''_0} \times 100.$$

În repaus, condiţiile de răcire ale motorului se înrăutăţesc. Durata activă relativă de lucru corectată depinde de factorul de corecţie pentru răcire:

$$DA[\%] = \frac{t_a}{t_a + \beta t_0} \times 100.$$

● **Echivalarea sarcinii intermitente cu o sarcină permanentă.** Diagrama reală din figura 6.6, *a* se poate transpune în diagrama ideală de sarcină din figura 6.6, *b*.

Sarcina echivalentă P_A se calculează prin metoda mărimilor echivalente:

$$P_A = \sqrt{\frac{P_1^2 t'_{a1} + P_2^2 t'_{a2} + \dots P_6^2 t'''_a}{t'_a + t''_a + t'''_a}}$$

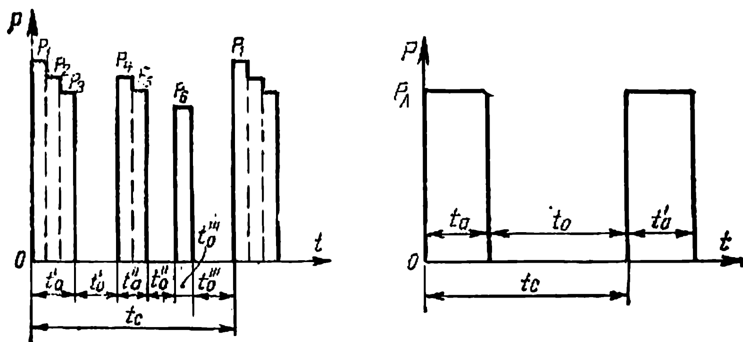


Fig. 6.6. Diagrama de sarcină:
a — reală; *b* — transpusă.

● **Recalcularea puterii motorului în *RI* de la o durată de lucru la alta.** Sarcina *RI* poate fi recalculată astfel ca un motor *RC* să o poată prelua.

Puterea nominală, turația și capacitatea de supraîncărcare ale aceluiași motor diferă după modul în care este folosit:

$$(P_n)_{60} < (P_n)_{40} < (P_n)_{25} < (P_n)_{15}.$$

$$(n_n)_{15} < (n_n)_{25} < (n_n)_{40} < (n_n)_{60}.$$

$$(M_n)_{15} < (M_n)_{25} < (M_n)_{40} < (M_n)_{60}.$$

Cunoscînd caracteristicile unui motor cu puterea P_{DA_1} la durata de lucru DA_1 se poate recalcula puterea acestui motor P_{DA_2} la o durată de lucru DA_2:

$$P_{DA_2} = P_{DA_1} \cdot \sqrt{\frac{DA_1}{DA_2}}$$

6. DETERMINAREA PUTERII MOTORULUI PENTRU ACŢIONĂRI ELECTRICE CU VOLANT

Exemple: prese mecanice, mașini de ștanțat, ciocane de forjă. Volantul acumulează energia cinetică cînd sarcina este redusă și o cedează cînd apar vîrfuri de sarcină. Șocurile de sarcină preluate de motor se aplatisează.

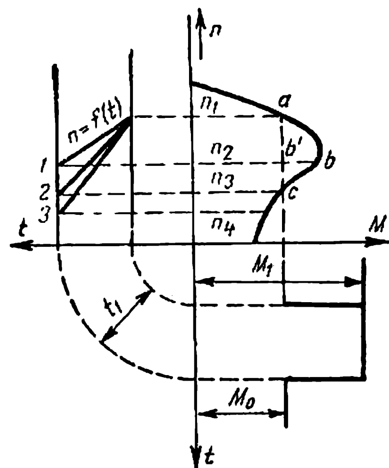


Fig. 6.7. Analiza stabilității unei acționări cu volant.

Puterea aleasă pentru motor la o acționare cu volant este redusă față de aceeași acționare, dar fără volant.

În figura 6.7 s-au reprezentat: în cadranul *I* — caracteristica mecanică a unui motor asincron, în cadranul *IV* — diagrama de sarcină pe care trebuie s-o preia, iar în cadranul *II* — diagramele $n = f(t)$ pentru trei situații de lucru.

La apariția șocului de sarcină de la M_0 la M_1, viteza se reduce de la n_1 la n_2, pe caracteristica $n = f(t) - 1$, deoarece cuplul motorului M este mai mic decît M_1; intervalul de timp în care se face reducerea de viteză este t_1 (durata șocului).

Revenirea de la M_1 la M_0 lasă motorului o rezervă de cuplu $b'b$, care permite revenirea turației pînă la n_1 (pe aceeași caracteristică *1*).

În cazul în care caracteristica $n = f(t)$ aleasă ar fi *3*, căderea de viteză pînă la n_4 nu lasă motorului rezerva de cuplu necesară și mecanismul se va opri.

Durata relativă a șocului de sarcină este determinată de raportul:

$$\tau = \frac{t_1}{2T}.$$

Momentul de volant raportat la arborele motorului pentru a prelua vîrfurile de sarcină se calculează cu relația:

$$GD^2 = \frac{t}{1} \frac{375 \cdot M_n}{n_0 s_n}$$

în care M_n este cuplul nominal, s_n alunecarea nominală și n_0 turația sincronă.

D. ALEGEREA TIPULUI CONSTRUCTIV AL MOTORULUI

Condițiile de lucru diferite impuse de mediul în care se desfășoară procesele de fabricație au determinat construirea unor game foarte largi de tipuri de motoare care diferă din punctul de vedere al gradului de protecție.

● **Gradele nominale de protecție contra pătrunderii corpurilor străine și a lichidelor** sînt stabilite în standardele 5325-70 și 625-71. Gradele de protecție sînt marcate cu literele IP, urmate de *două cifre caracteristice.*

Prima cifră caracteristică indică protecția contra atingerilor și pătrunderii corpurilor străine, în felul următor:

1. protecția contra atingerii întîmplătoare cu o mare suprafață a corpului omenesc și contra pătrunderii unor corpuri solide cu un diametru mai mare de 50 mm;

2. protecția contra atingerii cu degetele și a pătrunderii corpurilor cu diametrul peste 12,5 mm;

3. protecția împotriva atingerii cu unelte și alte obiecte similare de dimensiuni mici, în general împotriva pătrunderii corpurilor străine cu diametrul de peste 2,5 mm;

4. protecția împotriva atingerii cu unelte sau alte obiecte similare de dimensiuni mici, în general împotriva pătrunderii corpurilor străine cu diametrul peste 1 mm;

5. protecția contra atingerilor cu orice fel de mijloace și parțial împotriva prafului;

6. protecția totală contra prafului.

A doua cifră caracteristică se referă la protecţia contra pătrunderii lichidelor şi are următoarele semnificaţii:

0 — fără protecţie; nu este împiedicată pătrunderea lichidelor;

1 — protecţia contra picăturilor de apă provenite din condens;

2 — protecţia contra picăturilor care cad pe direcţia verticală;

3 — protecţia contra ploii considerate ca picături care cad sub unghi de maximum 45° faţă de verticală;

4 — protecţia contra stropilor de picături din orice direcţie;

5 — protecţia contra stropilor sub formă de jet din orice direcţie;

6 — protecţia contra condiţiilor existente pe puntea navelor;

7 — protecţia contra pătrunderii apei la scufundare într-un lichid;

8 — protecţia contra pătrunderii apei la scufundare într-un lichid sub presiune.

Exemplu. Un motor IP33 nu permite atingerea părţilor sub tensiune cu scule avînd diametrul mai mare de 2,5 mm (3) şi nu permite pătrunderea stropilor sub un unghi mai mare de 45°(3).

O problemă deosebită o constituie mediile cu atmosferă explozivă. În minele de cărbuni şi alte sectoare industriale, în funcţie de condiţiile locale şi de exploatare, este posibilă formarea unor amestecuri explozive de gaze, vapori, ceaţă sau praf, împreună cu aerul atmosferic, în cantitate suficientă încît să prezinte pericol.

Standardul 6877/1 ... 6877/10-73 se referă la condiţiile tehnice generale de calitate pentru echipamente destinate să funcţioneze în atmosferă explozivă.

● **După domeniile de destinaţie** sînt stabilite două grupe de echipamente electrice:

grupa I — echipamente cu protecţie antigrizutoasă, simbolizate Ex. I;

grupa II — echipamente cu protecţie antiexplozivă, simbolizate Ex. II.

Grupa II se subdivide în funcţie de caracteristicile substanţelor care generează atmosfera explozivă şi în funcţie de temperatura maximă de suprafaţă admisă. *Subgrupele determinate de caracteristicile substanţelor* se diferenţiază pe baza interstiţiului maxim admis în construcţiile capsulate antideflagrante:

II A-0,5 mm; II B-0,3 mm; II C-0,2 mm.

Subgrupele determinate de temperatura maximă de suprafaţă sînt:

T1-450°C; T2-300°C; T3-200°C; T4-135°C; T5-100°C; T6-85°C.

Pentru echipamentele electrice destinate să lucreze în locuri în care se depune praf de cărbune, se ia în considerare temperatura de mocnire, care limitează temperatura maximă de suprafaţă la 200°C (T3).

● **Modul de protecţie** reprezintă ansamblul măsurilor specifice aplicate unui echipament electric pentru împiedicarea aprinderii atmosferei explozive ambiante.

Echipamentele electrice se realizează cu următoarele moduri de protecţie:

d-capsulare antideflagrantă. Carcasa echipamentului este capabilă să suporte o explozie internă datorată pătrunderii în interior a unui amestec exploziv, prin îmbinări sau alte căi de trecere. Aparatul nu suferă avarii şi nu transmite explozia în atmosfera înconjurătoare;

p-capsulare presurizată. Părţile periculoase ale echipamentului electric sînt amplasate într-o carcasă în care atmosfera explozivă este prevenită şi exclusă de prezenţa unei atmosfere protectoare presurizate (de exemplu prin ventilaţie forţată cu aer proaspăt sau gaze inerte);

i-siguranţă intrinsecă. Un circuit electric se defineşte ca avînd siguranţă intrinsecă atunci cînd aprinderea atmosferei explozive prin scîntei sau efect termic este exclusă, atît la funcţionare normală cît şi în condiţii de defect;

q-înglobare în nisip. Arcul electric şi efectul termic sînt neutralizate din punct de vedere al aprinderii atmosferei explozive, prin înglobarea părţilor periculoase ale echipamentului electric în nisip;

o-imersiune în ulei. Părţile periculoase ale echipamentului electric sînt imersate în ulei, astfel încît arcul electric, scînteile sau gazul fierbinte formate sub ulei, nu pot aprinde atmosfera explozivă de la suprafaţa uleiului;

e-siguranţă mărită. La echipamentele electrice care în mod normal funcţionează fără încălziri excesive, arcuri şi scîntei, în interiorul carcaselor se iau măsuri suplimentare faţă de cele adoptate în practica industrială obişnuită, în vederea obţinerii unei securităţi sporite.

s-mod special. Aprinderea atmosferei explozive este împiedicată prin alte măsuri decît cele definite în celelalte moduri.

Din exemplele care urmează, rezultă ordinea înscrierii simbolurilor, aşa cum sînt marcate pe etichetele echipamentelor electrice.

Ex: d II A T3 — protecţie antiexplozivă, capsulare antideflagrantă, subgrupa II A, clasa de temperatură T3;

Ex: p II T5 — protecţie antiexplozivă, capsulare presurizată, grupa II, clasa de temperatură T5;

Ex: o II T2 — protecţie antiexplozivă, imersiune în ulei, grupa II, clasa de temperatură T2;

Ex: d I/II B T3 — protecţie antigrizutoasă şi antiexplozivă, capsulare antideflagrantă, grupa I şi II subgrupa B, clasa de temperatură T3.

Trebuie remarcat că *protecţia împotriva exploziilor nu asigură implicit şi protecţia normală împotriva atingerilor, pătrunderii corpurilor străine şi a lichidelor.*

Simbolizarea aparatajului electric în construcţie explozivă este identică cu aceea pentru maşibile electrice.

REZUMAT

Motoarele electrice se construiesc pentru regimuri nominale de funcţionare care ţin seama de modul în care este atins echilibrul termic.

Alegerea *şi verificarea motorului electric* se face în funcţie de încălzire.

În regim intermitent se calculează durata relativă de lucru, alegîndu-se motorul electric cel mai apropiat. Duratele relative de lucru standardizate sînt 15, 25, 40 şi 60%.

Volantul se foloseşte pentru acţionările electrice cu şocuri de sarcină, permiţînd alegerea unui motor mai mic (decît motorul necesar aceleiaşi acţionări fără volant).

În funcţie de mediul în care se desfăşoară procesele de fabricaţie motoarele se aleg ţinîndu-se seama de gradul de protecţie necesar împotriva pătrunderii prafului şi apei. Pentru medii explozive se aleg motoare în execuţie antiexplozivă.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. Un motor construit pentru o durată de funcţionare de 90 min este un motor pentru:
   a—RC? b—RSD?
2. Care este cuplul unui electromotor de 10 kW şi 1 500 rot/min?
3. Să se calculeze puterea echivalentă pentru diagrama de sarcină din figura 6.8.
4. În ce raport se află puterea nominală cu durata activă, relativă de lucru?
   a—direct proporţional; b—invers proporţional.
5. Să se calculeze puterea unui electromotor de 10 kW cu *DA* 40% pentru *DA* 15%.

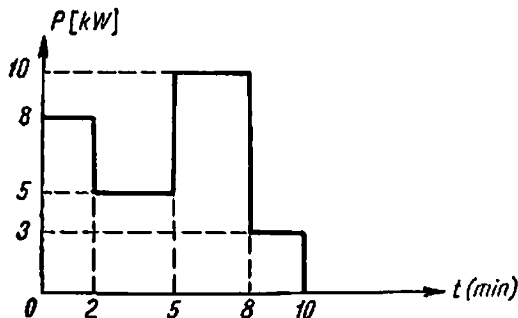


Fig. 6.8. Schema electrică a unui grup generator-motor.

6. Se cere să se aleagă un electromotor care să aibă o protecţie contra atingerilor cu orice fel de mijloace şi parţial împotriva prafului, precum şi contra stropilor cu picături din orice direcţie.

   Care este gradul de protecţie contra pătrunderii corpurilor străine şi a lichidelor conform STAS 5325-70?

   a — IP43; b — IP54; c — IP23.

CAPITOLUL 7

ACȚIONĂRI CU GRUPURI DE MAȘINI

Grupurile de mașini sînt utilizate:

— pentru obținerea unor reglaje de viteză cu caracteristici superioare din punctul de vedere al gamei de reglare, precizie etc.;

— pentru obținerea unor caracteristici mecanice de o anumită formă;

— pentru realizarea unor sisteme de transmisie sincronă.

În cele ce urmează se va descrie pe scurt principiul de funcționare al următoarelor grupuri de mașini:

— grupul generator-motor;

— două mașini cuplate pe același arbore, una funcționînd în regim de motor, iar cealaltă în regim de generator;

— arborele electric cu mașini asincrone.

● Pe schema **grupului generator-motor**, prezentată în figura 7.1, se observă că motorul asincron MA, alimentat de la rețeaua trifazată cu curent alternativ, antrenează generatorul de curent continuu cu excitație independentă G. Generatorul alimentează direct de la bornele sale motorul de curent continuu cu excitație independentă M, iar ML este mașina de lucru pusă în funcțiune de motor.

Excitațiile Ex_G și Ex_M ale generatorului și respectiv motorului sînt alimentate de la excitatoarea E montată pe același ax cu motorul asincron și generatorul.

În circuitul de excitație al generatorului este prevăzut reostatul R_{eG} și inversorul manual K. În circuitul de excitație al motorului este prevăzut reostatul R_{eM}. Inversorul K servește pentru inversarea sensului de rotație al motorului M prin inversarea tensiunii la bornele generatorului.

Raportul între turația nominală n_n și turația minimă n_{min} ce se poate obține este de 10 ... 12.

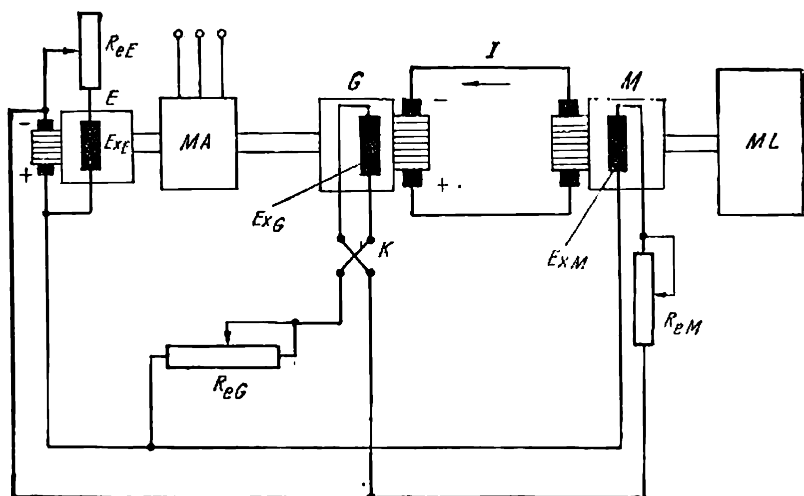


Fig. 7.1. Schema electrică a unui grup generator-motor.

Gama de variere a turației poate fi mărită prin slăbirea cîmpului motorului M cu ajutorul reostatului R_{eM}. În cazul alimentării motorului la tensiunea nominală (generatorul excitat la maximum), turația sa poate fi mărită de circa 2 ... 3 ori prin slăbirea cîmpului.

Frînarea se face prin deconectarea înfășurării de excitație a generatorului Ex_G de la sursa de alimentare și conectarea ei pe o rezistență de frînare.

În această situație, tensiunea electromotoare a motorului devine mai mare decît tensiunea electromotoare a generatorului, $E_M < E_G$ și rolurile se schimbă: motorul devine generator, iar generatorul — motor.

Generatorul G lucrînd ca motor cu flux diminuat, antrenează motorul asincron M la valori ale turației mai mari decît valoarea de sincronism, trecîndu-l în regim de generator.

Energia cinetică a motorului M și a mașinii de lucru ML scad repede, realizîndu-se o frînare completă, care poate fi urmată de inversarea sensului de rotație, prin comutarea inversorului K pe poziția în care înfășurarea Ex_G este alimentată din nou de la excitatoare, dar cu polaritate inversată.

● **În figura 7.2, *a* este reprezentată cuplarea pe același arbore a două mașini asincrone**, dintre care una funcționează în regim de motor, iar cealaltă în regim de generator. Acest grup de mașini asigură funcționarea stabilă la o viteză redusă.

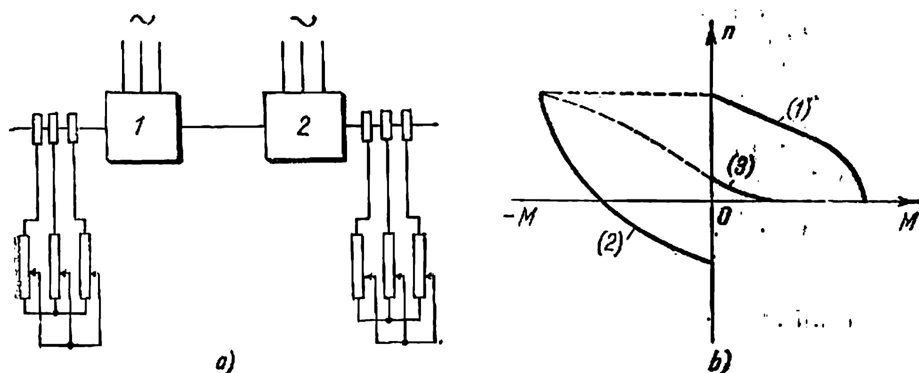


Fig. 7.2. Cuplarea pe același arbore a două mașini asincrone pentru asigurarea stabilității la viteză de rotație redusă:

a — schema cuplării celor două mașini; b — caracteristicile mecanice.

În figura 7.2, *b* sînt reprezentate caracteristicile mecanice *1* și *2* ale celor două mașini și rezultanta lor *3*.

Caracteristica mecanică rezultantă este suficient de rigidă pentru viteze mici.

• În figura 7.3 este reprezentată **schema unui arbore electric cu motoare asincroane cu reostat comun.**

Acest sistem permite sincronizarea vitezelor de rotație a două motoare asincrone care nu sînt cuplate mecanic între ele.

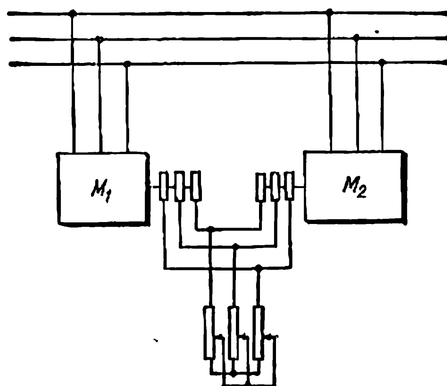


Fig. 7.3 Arborele electric cu motoare asincrone cu reostat comun.

Condiția ca sistemul să funcționeze în regim normal, este ca parametrii ambelor motoare să fie identici.

Dacă unghiul de decalaj $\theta = 0$, atunci curenții care circulă prin rotoarele celor două mașini sînt egali și suma acestor curenți circulă prin reostatul comun. Dacă încărcările celor două motoare nu sînt egale, atunci curentul egalizator care ia naștere circulă direct între cele două circuite rotorice, în afara reostatului.

Cuplul fiecărui motor poate fi privit ca suma dintre cuplul nominal și cuplul egalizator.

Dacă apare deci un unghi de decalaj $\theta > 0$, atunci alunecarea va crește, iar cuplurile dezvoltate de motoare vor fi mai mari și va apare cuplul egalizator, unghiul de decalaj tinzînd către valoarea $\theta = 0$.

CAPITOLUL 8

SCHEME DE ALIMENTARE ȘI COMANDĂ A ACȚIONĂRILOR ELECTRICE

Schemele de alimentare și comandă simplificate, tipice pentru pornirea, varierea turației și frînarea motoarelor electrice utilizează aparatele studiate în capitolele anterioare pentru:

— protecția circuitelor, motoarelor și personalului de exploatare;

— conectarea motoarelor la rețeaua de alimentare cu energie electrică;

— varierea tensiunii de alimentare a înfășurărilor motoarelor;

— varierea rezistențelor suplimentare introduse în circuitele înfășurărilor;

— varierea fluxului inductor al motoarelor;

— comanda pornirii, varierii turației sau frînării.

Simbolurile utilizate, precum și modul de reprezentare al schemelor de alimentare și comandă sînt standardizate, pentru o mai ușoară înțelegere a acestora.

Schema de alimentare și comandă este reprezentarea grafică convențională a instalației de acționare electrică, adică a tuturor mașinilor și aparatelor electrice, precum și a legăturilor dintre acestea.

Circuitul de forță, reprezentat cu linie groasă, conține aparatele pentru conectarea la rețea și pentru protecția împotriva suprasarcinilor și scurtcircuitelor, precum și rezistențele de pornire, reglaj sau frînare.

Circuitul de comandă, reprezentat cu linie subțire, conține aparatele de comandă (butoane, controlere, relee) și elementele de comandă ale aparatelor de conectare și protecție (bobine de anclanșare, contacte auxiliare).

Legăturile dintre mașini și aparate sînt reprezentate în ordinea lor logică, pentru a permite înțelegerea ușoară a schemei.

A. PORNIREA ŞI INVERSAREA SENSULUI DE ROTAŢIE A MOTORULUI ASINCRON ÎN SCURTCIRCUIT, DE PUTERE MICĂ

● **Elementele principale ale schemei** (fig. 8.1) sînt următoarele:
— electromotorul m_1;
— contactoarele c_1, c_2 pentru pornire şi inversarea sensului de rotaţie, comandate prin butoane de comandă.
● **Pornirea motorului:**
— *se apasă butonul* b_2:
● anclanşează c_1 care:
— prin *c.a.n.d.* (contact auxiliar normal deschis) se reţine;
— prin *c.a.n.î.* (contact auxuliar normal închis) blochează pe c_2;
— prin *C.P.* (contacte principale) porneşte m_1, în sens direct:
— *dacă se apasă butonul* b_3:
● anclanşează c_2 care:
— prin *c.a.n.d.* se reţine;
— prin *c.a.n.î.* blochează pe c_1;
— prin *C.P.* porneşte m_1, în sens invers.
● **Oprirea motorului**
Pentru aceasta se apasă butonul b_1 şi astfel declanşează c_1, se deschid *C.P.*, se opreşte m_1.
○ **Observaţie.** Dacă motorul a funcţionat într-un anumit sens şi s-a dat comanda de oprire, o nouă pornire în sens contrar poate fi comandată

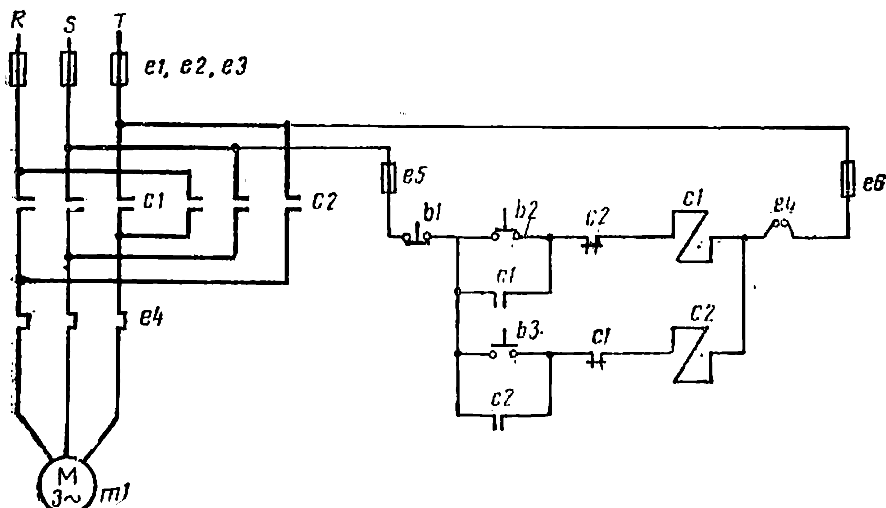


Fig. 8.1. Pornirea motorului asincron în scurtcircuit, de putere mică.

după scurgerea timpului necesar pentru oprirea completă a motorului. În caz contrar ar avea loc o frînare prin cuplare inversă, schema nefiind pregătită pentru aceasta.

Contactorul c_1 alimentează motorul cu succesiunea normală a fazelor *R*, *S*, *T*, iar contactorul c_2 cu succesiunea *T*, *S*, *R*, care asigură inversarea sensului de rotație.

B. PORNIREA CU REZISTENȚE DE PORNIRE ÎN CIRCUITUL ROTORIC, ÎN FUNCȚIE DE TIMP, A MOTORULUI ASINCRON CU INELE

● **Elementele principale ale schemei** (figura 8.2) sînt următoarele:

— motorul asincron cu inele m_1 și rezistența de pornire trifazată cu trei trepte r_1 inclusă în circuitul rotoric;

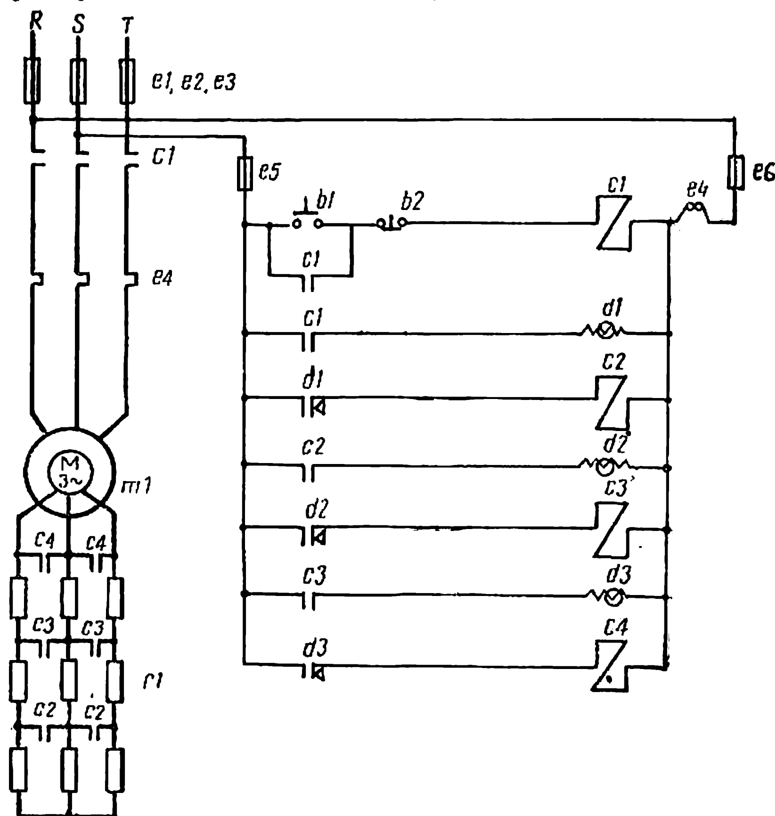


Fig. 8.2. Pornirea cu rezistențe de pornire în circuitul rotoric, în funcție de timp, a motorului asincron cu inele.

— contactorul c_1 pentru conectarea motorului la rețea, comandat prin butoane de comandă;

— contactoarele c_2, c_3, c_4 pentru scurtcircuitarea rezistenței de pornire r_1, comandate prin relee de timp.

● **Pornirea motorului:**

— *se apasă butonul b_1:*

● anclanșează *C1* care:

— prin *c.a.n.d.* se autoreține;

— prin *c.a.n.d.* alimentează bobina d_1;

— prin *C.P.* pornește motorul m_1, cu rezistența r_1 în circuitul rotoric.

Motorul m_1 se accelerează și după intervalele de timp t_1, t_2, t_3:

— cuplează succesiv d_1, d_2, d_3 și prin *c.a.n.d.* alimentează bobinele c_2, c_3, c_4;

— anclanșează c_2, c_3, c_4 care prin *C.P.* scurtcircuitează treptele de pornire ale rezistenței r_1.

Motorul m_1 se accelerează pînă la turația nominală.

● **Oprirea motorului:**

— se apasă butonul b_2:

● se dezexcită c_1 și se oprește motorul m_1;

● c_2, c_3, c_4 se dezexcită reintroducînd în circuit rezistențele r_1.

● **Observație.** Pornirea motorului asincron cu inele, cu rezistențe de pornire incluse în circuitul rotoric, se poate face și în funcție de curent sau de turație, dar se preferă pornirea în funcție de timp, fiind mai ușor de realizat și de controlat.

C. FRÎNAREA MOTORULUI ASINCRON ÎN SCURTCIRCUIT

1. FRÎNAREA DINAMICĂ

● **Elementele principale ale schemei** (fig. 8.3) **sînt următoarele:**

— motorul asincron în scurtcircuit m_1;

— transformatorul coborîtor m_2 și redresorul în punte n_1 pentru alimentarea cu curent continuu a statorului în timpul frînării;

— contactorul c_1 pentru conectarea la rețea a motorului, comandat prin butoane de comandă;

— contactorul c_2 pentru frînare, comandat printr-un releu de timp.

● **Pornirea motorului:**

— *se apasă butonul b_2:*

● se excită c_1 care se autoreține.

● **Frînarea dinamică:**

— *se apasă butonul b_1:*

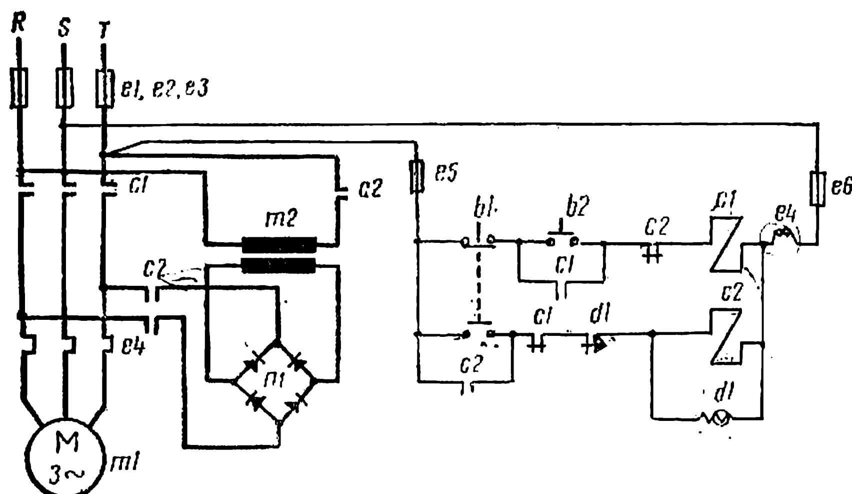


Fig. 8.3. Frînarea dinamică a motorului asincron în scurtcircuit.

- declanşează c_1 care:
  — prin *c.a.n.d.* îşi taie autoreţinerea;
  — prin *c.a.n.î.* permite alimentarea bobinei c_2;
  — prin *C.P.* deconectează motorul de la reţea;
- declanşează c_2 care:
  — prin *c.a.n.d.* se autoreţine;
  — prin *c.a.n.î.* taie alimentarea bobinei c_1;
  — prin *C.P.* alimentează primarul transformatorului m_2 şi redresorul n_1.

Motorul frînează şi după trecerea timpului necesar pentru frînare:

- cuplează d_1 şi prin *c.n.î.* taie alimentarea bobinei c_2 şi a propriei sale bobine.

- **Observaţie.** Schema prezentată realizează frînarea dinamică în funcţie de timp, prin deconectarea de la reţea a motorului şi conectarea a două faze ale statorului la o sursă de curent continuu.

2. FRÎNAREA PRIN CUPLARE INVERSĂ

- **Elementele principale ale schemei (fig. 8.4) sînt:**

— motorul asincron în scurtcircuit m_1 cu rezistenţa de frînare trifazată r_1;

— contactorul c_1 pentru conectarea la rețea a motorului, comandat prin butoane de comandă;

— contactorul c_2 pentru frînare prin cuplare inversă, comandat prin releul U_1.

Releul de turație U_1 este astfel construit încît în stare de repaus contactele sînt deschise, iar în stare de funcționare se închide fie contactul *1—2*, fie contactul *1—3*, corespunzător sensului de rotație al motorului.

● **Pornirea motorului:**

— *se apasă butonul* b_2:

● se excită c_1, care se autoreține.

● **Frînarea prin cuplare inversă:**

— *se apasă butonul* b_1:

● declanșează c_1 care:

— prin *c.a.n.d.* își taie autoreținerea;

— prin *c.a.n.î.* alimentează bobina c_2;

— prin *C.P.* deconectează motorul de la rețea;

● declanșează c_2 care prin *C.P.* conectează motorul la rețea cu fazele inversate prin rezistența r_1.

Motorul frînează și în momentul atingerii turației zero, contactul *1—2* al releului de turație U_1 se deschide, deci:

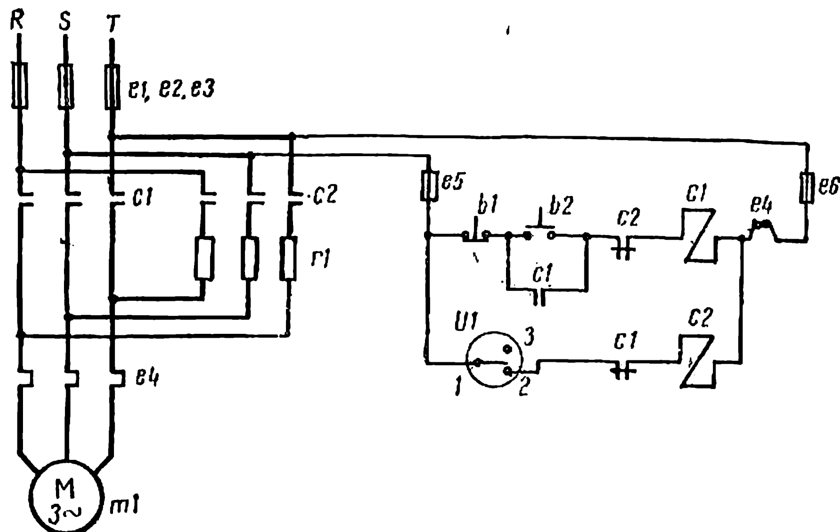


Fig. 8.4. Frînarea prin cuplare inversă a motorului asincron în scurtcircuit.

● declanşează c_2 care:

— prin *c.a.n.î.* permite alimentarea din nou a bobinei c_1;

— prin *C.P.* deconectează motorul de la reţea.

● **Observaţie.** Rezistenţa r_1 are rolul de a limita curentul şi cuplul în timpul frînării.

D. VARIEREA TURAŢIEI CU REZISTENŢE DE REGLARE LA MOTORUL ASINCRON CU INELE

● **Elementele principale ale schemei (fig. 8.5, *a*) sînt următoarele:**

— motorul asincron cu inele m_1 cu rezistenţa de pornire şi reglare trifazată r_1 şi electromagnetul de frînă s_1;

— contactoarele c_1, c_2 pentru conectarea motorului la reţea şi inversarea sensului de rotaţie, comandate prin controler de comandă;

— contactoarele c_3, c_4, c_5 pentru scurtcircuitarea treptelor de pornire şi reglare, comandate prin controlerul de comandă b_1 şi prin releele de timp d_2, d_3 şi d_4.

Diagrama închiderii contactelor controlerului de comandă b_1 este dată în figura 8.5, *b*.

● **Pornirea motorului:**

— *se pune controlerul b_1 pe poziţia zero* (contactul *1* închis);

● cuplează d_1 şi prin *c.n.d.* se autoreţine şi alimentează schema de comandă;

— *se pune controlerul pe poziţia 4 „înainte"* (contactele *2, 4, 5, 6* închise):

● anclanşează c_1 care:

— prin *c.a.n.d.* alimentează bobina d_2;

— prin *c.a.n.î.* blochează pe c_2;

— prin *C.P.* porneşte motorul cu rezistenţa r_1 inclusă în circuitul rotoric, iar electromagnetul s_1 acţionează frîna pentru ridicarea saboţilor.

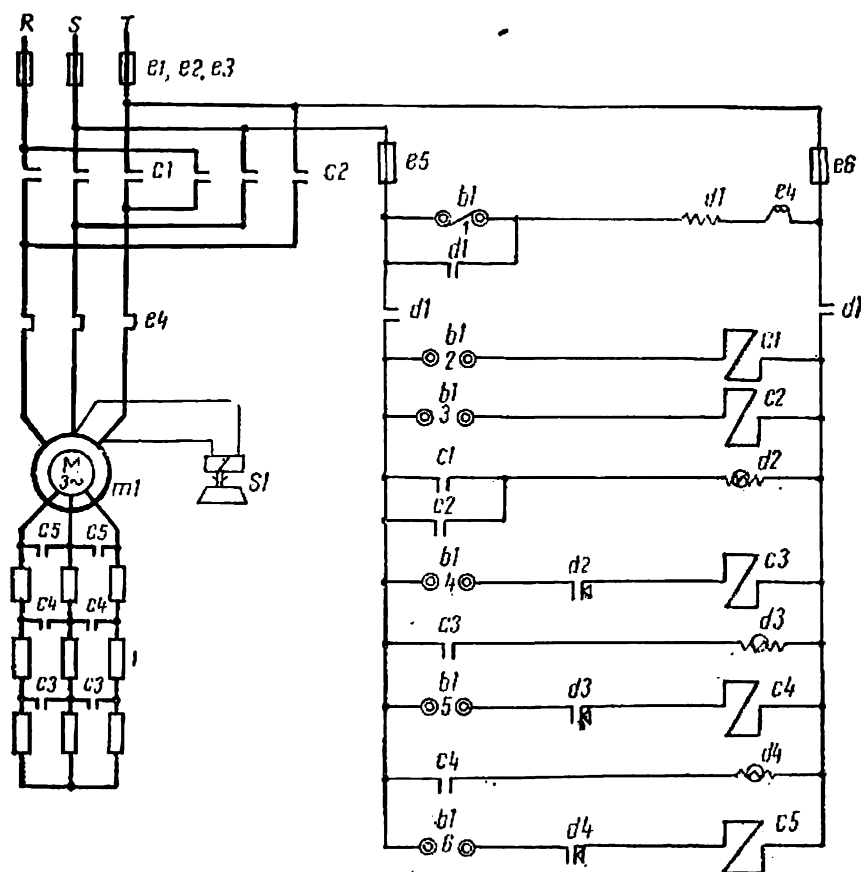
Motorul accelerează şi după intervalele de timp t_1, t_2, t_3:

● cuplează d_2, d_3, d_4 şi prin *c.n.d.* alimentează bobinele c_3, c_4, c_5;

● anclanşează c_3, c_4, c_5 şi prin *C.P.* scurtcircuitează treptele de pornire ale rezistenţei r_1.

Motorul se accelerează pînă la atingerea turaţiei nominale.

● **Varierea turaţiei motorului.** Dacă se pune controlerul pe o altă poziţie, de exemplu poziţia *2* „înainte", anclanşează numai contactoarele c_2 şi c_3, deci motorul se accelerează pînă la turaţia n_1 corespunzătoare scurtcircuitării unei singure trepte a rezistenţei de pornire şi reglare şi continuă să funcţioneze cu această turaţie.



a

Poziția / Contacte	Înainte 4	Înainte 3	Înainte 2	Înainte 1	0	Înapoi 1	Înapoi 2	Înapoi 3	Înapoi 4
1					×				
2	×	×	×	×					
3						×	×	×	×
4	×	×	×				×	×	×
5	×	×						×	×
6	×								×

b

Fig. 8.5. Varierea turației cu rezistențe introduse în circuitul rotoric al motorului asincron cu inele.

Dacă motorul funcționează cu turația nominală, rezistența de pornire și reglare fiind complet scurtcircuitată, și se trece controlerul de exemplu de pe poziția *4* „înainte“ pe poziția *3* „înainte“, declanșează contactorul c_5 și se introduce în circuit treapta de rezistență corespunzătoare. Turația motorului scade la valoarea n_2, corespunzătoare funcționării cu două trepte scurtcircuitate.

La trecerea de la o viteză inferioară la o viteză superioară, procesul tranzitoriu este controlat prin relee de timp.

● **Oprirea motorului:**

— *se pune controlerul pe poziția zero* (contactul *1* închis):

● declanșează toate contactoarele și releele de timp;

● își pierde alimentarea electromagnetul de frînă și lasă saboții să preseze cuplajul frînei.

● **Observație.** Funcționarea schemei pentru pozițiile „înapoi“ ale controlerului se explică similar, sensul de rotație al motorului fiind inversat.

Rezistența r_1 este inclusă în circuit atît în timpul pornirii cît și în timpul funcționării motorului pe trepte de turație mai mici decît turația nominală. Din această cauză, rezistențele de pornire și reglare trebuie să fie mai larg dimensionate decît rezistențele de pornire, prin care trece curent numai în timpul pornirii.

E. PORNIREA CU REZISTENȚE DE PORNIRE A MOTORULUI DERIVAȚIE DE CURENT CONTINUU

1. PORNIREA ÎN FUNCȚIE DE TIMP

● **Elementele principale ale schemei** (fig. 8.6) sînt următoarele:

— motorul de curent continuu m_1 cu înfășurarea de excitație *Ex*, prevăzut cu rezistențele de pornire r_1, r_2;

— contactorul c_1 pentru conectarea motorului la rețea, comandat prin butoane de comandă;

● contactoarele c_2, c_3 pentru scurtcircuitarea rezistențelor de pornire, comandate prin releele de timp d_1, d_2.

● **Pornirea motorului:**

— *se apasă butonul* b_1;

● anclanșează c_1 care:

— prin *c.a.n.d.* alimentează bobina releului de timp d_1;

— prin *C.P.* pornește m_1 cu r_1, r_2 incluse în circuitul indusului.

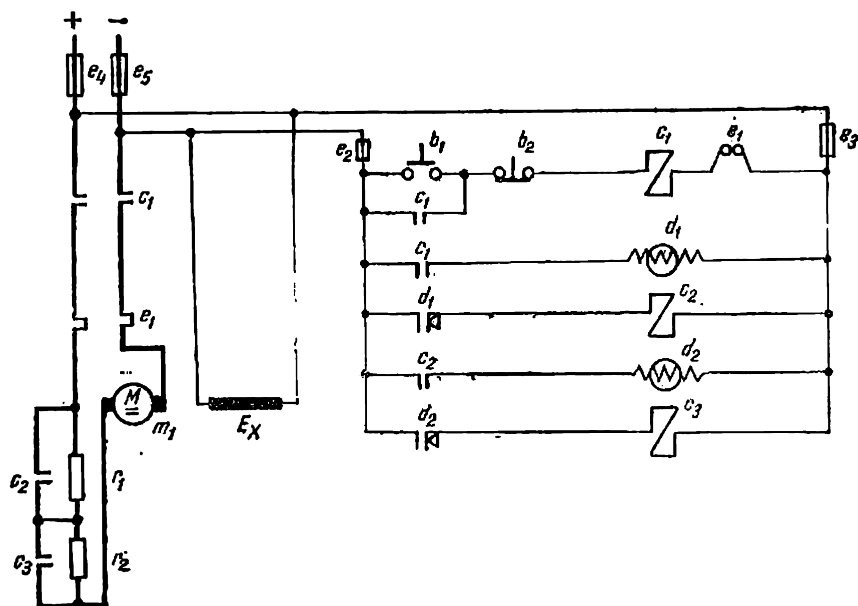


Fig. 8.6. Pornirea cu rezistențe de pornire, în funcție de timp, a motorului derivație de curent continuu.

După intervalul de timp t_1, cînd motorul ajunge la turația n_1:

- acționează d_1 și prin *c.a.n.d.* alimentează bobina c_2;
- declanșează c_2 care:
  — prin *c.a.n.d.* alimentează bobina releului de timp d_2;
  — prin *C.P.* scurtcircuitează r_1.

Motorul se accelerează în continuare și după intervalul de timp t_2, cînd ajunge la turația n_2:

- acționează d_2 și prin *c.n.d.* alimentează bobina c_3;
- anclanșează c_3 și prin *C.P.* scurtcircuitează r_2.

Motorul se accelerează pînă la atingerea turației nominale.

- Oprirea motorului:

— se apasă butonul b_2:

- se dezexcită c_1 și se întrerupe circuitul m_1.

○ **Observație.** Releele de timp sînt reglate pentru a comanda scurtcircuitarea rezistențelor de pornire la intervalele de timp t_1, t_2, calculate astfel încît pornirea să fie conformă principiului pornirii în funcție de timp.

● **Elementele principale ale schemei (fig. 8.7) sînt următoarele:**
— motorul de curent continuu m_1 cu înfășurarea de excitație *Ex*, prevăzut cu rezistențele de pornire r_1, r_2, r_3;
— contactorul c_1 pentru conectarea motorului la rețea, comandat prin butoane de comandă;
— contactoarele c_2, c_3, c_4 pentru scurtcircuitarea rezistențelor de pornire.

○ **Notă.** Contactoarele c_2, c_3, c_4 sînt astfel alese încît anclanșarea lor să aibă loc succesiv la valorile $E_1 = C_e n_1$, $E_2 = C_e n_2$, $E_3 = C_e n_3$ ale tensiunii electromotoare din indus, adică la valorile n_1, n_2, n_3 ale turației motorului.

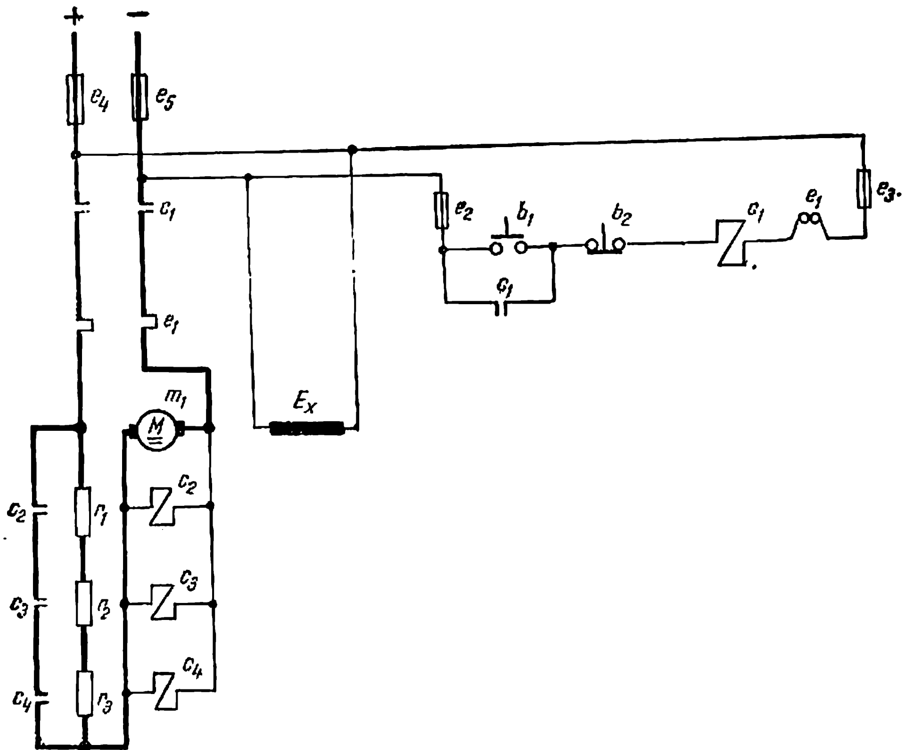


Fig. 8.7. Pornirea cu rezistențe de pornire, în funcție de turație, a motorului derivație de curent continuu.

● **Pornirea motorului:**
— *se apasă butonul b_1:*
● anclanşează c_1 care:
— prin *c.a.n.d.* se autoreţine;
— prin *C.P.* porneşte m_1 cu r_1, r_2, r_3 incluse în circuitul indusului.
Pe măsură ce motorul se accelerează atingînd valorile n_1, n_2, n_3 ale turaţiei, tensiunea electromotoare ia valorile E_1, E_2, E_3 şi succesiv:
● anclanşează c_2 care prin *C.P.* scurtcircuitează r_1;
● anclanşează c_3 care prin *C.P.* scurtcircuitează r_2;
● anclanşează c_4 care prin *C.P.* scurtcircuitează r_3.
În continuare motorul se accelerează pînă la atingerea valorii nominale a turaţiei.
● **Oprirea motorului:**
— *se apasă butonul b_2:*
● se dezexcită c_1 şi se opreşte m_1.

3. PORNIREA ÎN FUNCŢIE DE CURENT

● **Elementele principale ale schemei** (fig. 8.8) sînt următoarele:
— motorul de curent continuu m_1 cu înfăşurarea de excitaţie *Ex*, prevăzut cu rezistenţele de pornire r_1, r_2;
— contactorul c_1 pentru conectarea motorului la reţea, comandat prin butoane de comandă;

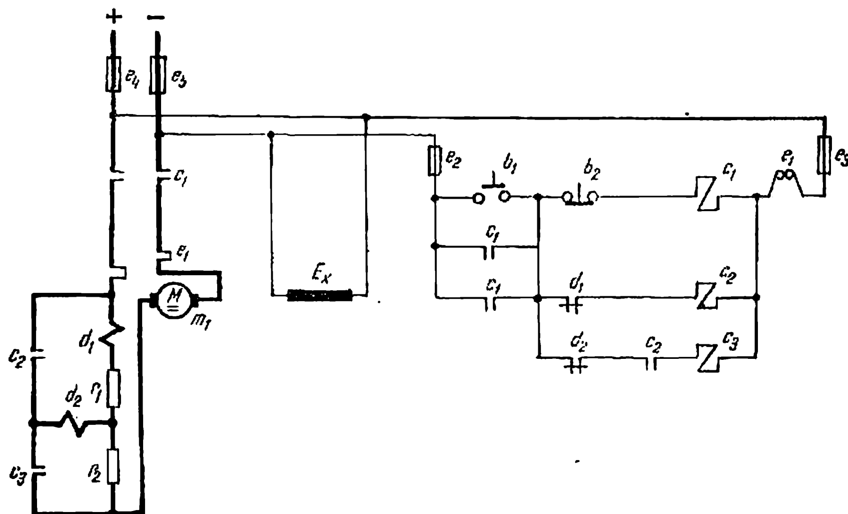


Fig. 8.8. Pornirea cu rezistenţe de pornire, în funcţie de curent, a motorului derivaţie de curent continuu.

— contactoarele c_2, c_3, pentru scurtcircuitarea rezistențelor de pornire, comandate prin relee de curent.

Releele de curent d_1 și d_2 sînt reglate să cupleze la valoarea I_M a curentului din indus și să decupleze la valoarea I_m.

● **Pornirea motorului:**

— *se apasă butonul* b_1:

● anclanșează c_1 care:

— prin *c.a.n.d.* se autoreține;

— prin *C.P.* pornește m_1 cu r_1, r_2 incluse în circuitul indusului.

Deoarece curentul din indus care se închide prin bobina d_1 și prin rezistențele r_1, r_2, are valoarea inițială (maximă) I_M:

● cuplează d_1 care:

— prin *c.n.î.* blochează pe c_2 (nici c_3 nu poate anclanșa datorită *c.a.n.d.* al contactorului c_2).

Motorul se accelerează pînă cînd, la valoarea n_1 a turației, curentul din indus are valoarea minimă I_m, deci:

● decuplează d_1 și prin *c.n.î.* alimentează bobina c_2;

● anclanșează c_2 care:

— prin *c.a.n.d.* pregătește alimentarea bobinei lui c_3;

— prin *C.P.* scurtcircuitează r_1 și bobina d_1, scoțîndu-le din funcțiune.

Curentul din indus se închide acum prin *C.P.* c_2, bobina d_2 și rezistența r_2 și are din nou valoarea I_M, deci:

● cuplează d_2 și prin *c.n.î.* blochează pe c_3.

Motorul accelerează din nou pînă la turația n_2, corespunzătoare valorii I_m a curentului din indus, deci:

● decuplează d_2 și prin *c.n.î.* alimentează bobina c_3;

● anclanșează c_3 și prin *C.P.* scurtcircuitează r_2 și bobina d_2, scoțîndu-le din funcțiune.

● **Oprirea motorului:**

— *se apasă butonul* b_2.

○ **Observație.** Schemele de pornire în funcție de curent se utilizează mai rar în practică, și anume atunci cînd se cere o precizie mare a pornirii.

F. PORNIREA MOTORULUI SINCRON DE JOASĂ TENSIUNE, ÎN FUNCȚIE DE VITEZĂ, CU AUTOTRANSFORMATOR DE PORNIRE

Pornirea în regim asincron a motorului sincron se poate face direct numai atunci cînd construcția motorului și rețeaua de alimentare permit acest lucru.

Alimentarea înfășurării de excitație se închide pe o rezistență la începutul pornirii, pentru a preîntîmpina apariția tensiunilor ridicate,

neadmise, la cuplarea statorului la rețea. Alimentarea cu curent continuu a înfășurării de excitație în momentul atingerii vitezei subsincrone se face în una sau două trepte. Momentul de alimentare a înfășurării de excitație se alege astfel încît sincronizarea să fie cît mai rapidă, șocurile de curent în circuitul statorie cît mai mici, iar timpul de pornire suficient de scurt pentru a preîntîmpina supraîncălzirea înfășurării de pornire a motorului.

○ **Important:**

1) Alimentarea înfășurării de excitație înainte de cuplarea statorului la tensiunea nominală se recomandă numai în cazul încărcării reduse a motorului, deoarece cuplul de sincronizare este mic.

2) Alimentarea înfășurării de excitație cu tensiunea redusă, adică în trepte, se recomandă în cazul pornirii în gol a motoarelor, deoarece cuplul de sincronizare este de asemenea mic.

3) În cazul pornirii motorului sub sarcină, alimentarea excitației se face numai pe o singură treaptă și numai după cuplarea statorului la tensiunea nominală.

Sincronizarea motorului sincron pornit în regim asincron este o operație extrem de importantă, în care se urmărește ca șocurile de curent să fie minime și cuplurile de sincronizare maxime. Pentru a se realiza aceste deziderate, este necesar ca alimentarea rotorului cu curent continuu să se facă la o alunecare cît mai mică, în momentul cînd axele polilor S ale rotorului sînt în urmă cu cel mult 15—30 grade electrice față de polii N ai statorului.

Sincronizarea în funcție de viteză asigură o pornire destul de precisă cu ajutorul releului de succesiune a alternanțelor rotorice, care este de fapt un releu de timp cu temporizare la decuplare (cu spiră în scurtcircuit). Acest releu este inseriat cu un redresor uscat și este legat de o rezistență de descărcare în circuitul rotoric al motorului sincron.

Curentul alternativ indus în înfășurarea de excitație în timpul pornirii, trece prin bobina releului numai în jumătățile de perioadă în care sensul curentului coincide cu sensul de conducție al redresorului. În figura 8.9 s-a reprezentat curentul I_r din bobina releului și fluxul Φ_r, din circuitul magnetic al releului, Φ_e este fluxul de eliberare a armăturii releului. Se observă că deși bobina nu este alimentată cu curent între două jumătăți de perioadă, fluxul Φ_r se menține în permanență mai mare decît fluxul de eliberare Φ_e și releul nu eliberează armătura.

Fluxul Φ_r devine mai mic decît fluxul de eliberare Φ_e numai atunci cînd alunecarea scade foarte mult și intervalul dintre semiperioadele curentului I_r crește, iar amplitudinea acestora scade. Atunci releul își eliberează armătura și alimentează cu curent continuu înfășurarea de excitație.

Fig. 8.9. Diagrama de variație a curentului și fluxului în releul de succesiune a alternanțelor rotorice.

○ **Observație.** Din cele arătate mai sus se constată că releul de succesiune a alternanțelor rotorice măsoară atît alunecarea, cît și unghiul de decalaj, decuplînd atunci cînd acest unghi are valori apropiate de zero.

● **Elementele principale ale schemei** (fig. 8.10) sînt următoarele:

— motorul sincron m_1 cu înfășurările reprezentate prin cercuri concentrice: cercul exterior reprezintă înfășurarea statorică, iar cercul interior înfășurarea rotorică (de excitație);

Fig. 8.10. Pornirea motorului sincron de joasă tensiune, în funcție de viteză, cu autotransformator de pornire.

— autotransformatorul de pornire m_3;

— excitatoarea m_2 cu înfăşurarea de excitaţie *Ex* şi reostatul r_1 pentru reglarea excitaţiei;

— releul de succesiune a alternanţelor rotorice d_1 înseriat cu redresorul n_1 şi legate pe rezistenţa de descărcare r_2 din circuitul înfăşurării rotorice de excitaţie;

— contactorul c_1 pentru conectarea autotransformatorului de pornire în circuitul statoric la începutul pornirii, comandat prin butoane de comandă;

— contactorul c_2 pentru conectarea motorului direct la reţea, comandat prin releul de timp d_3;

— contactorul c_3 pentru conectarea excitaţiei la înfăşurarea rotorică de excitaţie, comandat prin releul de succesiune al alternanţelor rotorice.

● **Pornirea motorului:**

— *se apasă butonul* b_2:

● cuplează d_2 care:
  — prin *c.n.d.* se autoreţine;
  — prin *c.n.d.* alimentează bobinele c_1, d_3;
  — prin *c.n.î.* blochează pe c_2;

● anclanşează c_1 care:
  — prin *c.a.n.î.* blochează pe c_2;
  — prin *C.P.* conectează autotransformatorul m_3 în circuitul statoric.

În momentul cuplării statorului motorului la reţea, tensiunea electromotoare în rotor are o valoare maximă şi o frecvenţă maximă, egală cu frecvenţa reţelei. Din această cauză:

● cuplează d_1 şi prin *c.n.î.* blochează pe c_3.

Motorul, pornit prin anclanşarea lui c_1, se accelerează şi după trecerea intervalului de timp afectat alimentării statorului cu tensiune redusă:

● cuplează d_3 şi, prin *c.n.î*, taie alimentarea bobinei d_2;

● decuplează d_2 care:
  — prin *c.n.d.* îşi taie autoreţinerea;
  — prin *c.n.d.* taie alimentarea bobinelor c_1, d_3;
  — prin *c.n.î.* pregăteşte alimentarea bobinei c_2;

● decuplează d_3 şi prin *c.n.î.* numai poate alimenta bobina d_2;

● declanşează c_1 care:
  — prin *c.a.n.î.* alimentează bobina c_2;
  — prin *C.P.* deconectează autotransformatorul m_3 din circuitul statoric;

● anclanşează c_2 care:
  — prin *c.a.n.d.* blochează pe d_2;
  — prin *c.a.n.d.* pregăteşte alimentarea bobinei c_3;
  — prin *C.P.* conectează motorul la reţea.

Motorul se accelerează în continuare pînă la atingerea vitezei subsincrone la care trebuie să se alimenteze cu curent continuu înfășurarea rotorică de excitație, cînd:

- decuplează d_1 și prin *c.n.î.* alimentează bobina c_3;
- anclanșează c_3 care:

— prin *c.n.î.* deconectează releul de succesiune a alternanțelor rotorice d_1;

— prin *C.P.* conectează excitatoarea în înfășurarea rotorică de excitație.

Excitatoarea m_2 se autoexcită, alimentînd cu curent continuu rotorul motorului sincron. Motorul se sincronizează și începe să funcționeze în condiții normale.

- **Oprirea motorului**:

— *se apasă butonul* b_1:

- se dezexcită d_2 și revine $c_1 - c_2$.

○ **Observație.** Dacă timpul de sincronizare depășește o anumită limită, pornirea trebuie să fie anulată. Pentru aceasta se folosește un releu de timp (nereprezentat în figură) care începe să temporizeze din momentul alimentării statorului la tensiunea nominală și deconectează întreaga schemă dacă nu se atinge în limite de timp normale viteza subsincronă necesară pentru alimentarea cu curent continuu a înfășurării de excitație.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. De ce motoarele cu putere mijlocie și mare nu pot fi pornite direct de la rețea?
2. Să se explice funcționarea tuturor schemelor fără a se citi textul.
3. Ce tipuri de relee au fost utilizate pentru controlul frînării în schemele prezentate?
4. Cum se face și în ce situații se utilizează pornirea directă a motorului sincron?
5. Cum se alimentează înfășurările statorice în cazul pornirii prin autotransformator sau reactor?
6. Ce dezavantaj are alimentarea înfășurării de excitație înainte de cuplarea statorului la tensiunea nominală?
7. Dar alimentarea în trepte a înfășurării de excitație?
8. Ce urmărește și care este principiul de funcționare a releului de succesiune a alternanțelor rotorice?

CAPITOLUL 9

ACȚIONĂRI HIDRAULICE ȘI PNEUMATICE

A. NOȚIUNI GENERALE

În unele cazuri, acționarea anumitor agregate (sarcini) se realizează cu ajutorul unor motoare neelectrice, în speță folosind energia unui lichid sub presiune (motoare hidraulice) sau a unui gaz sub presiune (motoare pneumatice). Au apărut astfel *acționările hidraulice* folosind de obicei uleiul sub presiune și *acționările pneumatice* folosind aerul comprimat.

Dacă în cazul acționărilor electrice se dispune, în general, de un sistem energetic național care asigură sursa de energie electrică, în cazul acționărilor hidraulice sau pneumatice acestea avînd un caracter local, apare necesară realizarea unor surse „generatoare" de energie hidraulică (de exemplu o pompă de ulei sau mai multe constituind instalația de ulei sub presiune) sau de energie pneumatică (de exemplu o instalație de aer comprimat).

Schema structurală a unei acționări hidraulice sau pneumatice (fig. 9.1) cuprinde în principiu generatorul hidraulic (pneumatic) G antrenat de obicei de motorul electric E și care transmite fluidul ener-

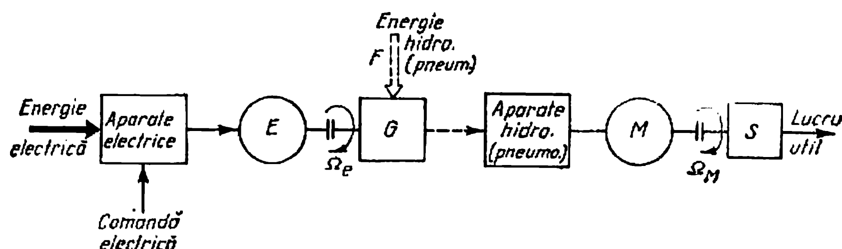


Fig. 9.1. Schema structurală a unei acționări hidraulice (pneumatice).

getic F (ulei sau aer comprimat) motorului M care antrenează sarcina (utilajul) S.

Se constată că, față de o schemă de acționare electrică, între motorul E și sarcina S s-a interpus sistemul generator motor (G-M) hidraulic sau pneumatic avînd propria sa comandă (hidraulică sau pneumatică). Acest sistem constituie, de fapt, o acționare electrohidraulică (electropneumatică).

În locul motorului electric, mai ales pe instalațiile mobile, se poate prevedea un motor cu ardere internă, de exemplu un motor Diesel. Un asemenea sistem poartă denumirea de acționare diesel-hidraulică (ca, de exemplu, acela folosit la locomotiva diesel-hidraulică ce se fabrică în țara noastră la Întreprinderea 23 August din Capitală).

Paralele cu introducerea acționărilor hidraulice și pneumatice au luat naștere și s-au dezvoltat elemente de automatizare hidraulice și pneumatice (traductoare, amplificatoare, relee etc.) precum și „elementele fluidice“ construite pe baza efectului Coandă, care folosind aerul comprimat îndeplinesc „funcții logice“ (ȘI, SAU, NICI etc.) în cadrul unor scheme logice de automatizări fluidice similare cu schemele logice cu semiconductoare.

B. ELEMENTELE SISTEMELOR DE ACȚIONARE HIDRAULICĂ

1. STRUCTURA SISTEMELOR HIDRAULICE

În funcție de condițiile mașinii de lucru (sarcină) motoarele hidraulice pot realiza:

— mișcare circulară (de rotație), ca de exemplu la locomotiva diesel-hidraulică;

— mișcare liniară (deplasare), ca de exemplu la presa hidraulică.

Structural, sistemele de acționare hidraulică pot fi realizate *cu circuit închis* (fig. 9.2, *a*) sau *cu circuit deschis* (fig. 9.2, *b*). În ambele cazuri pompa P împinge uleiul sub presiune în motorul hidraulic M avînd mișcare circulară, iar uleiul uzat este adus direct la pompă (fig. 9.2, *a*), sau se scurge în rezervorul R, de unde este aspirat de pompă. În figura 9.2, *c* s-a prezentat schema unei acționări hidraulice cu circuit deschis și motor hidraulic cu mișcare liniară.

În acționările hidraulice se folosește în general uleiul mineral cu o viscozitate redusă (2—6° Engler la 50°C), realizat în condiții speciale de rafinare.

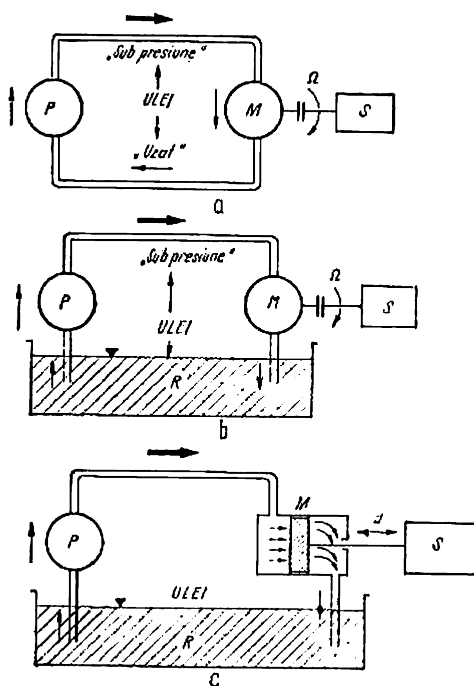


Fig. 9.2. Structura sistemelor hidraulice:
a — cu circuit închis și mișcare circulară; b — cu circuit deschis și mișcare circulară; c — cu circuit deschis și mișcare liniară.

Avantajele principale ale *sistemelor de acționare hidraulică* sînt:

— posibilitatea varierii continue a vitezei de acționare, existența unui sistem de comandă hidraulică asigurînd posibilități multiple de manevrare;

— funcționare liniștită, fără zgomot și fără vibrații;

— posibilitatea realizării cu ușurință a forțelor (presiunilor) mari;

— organele componente funcționînd chiar în ulei nu necesită instalații de ungere;

— deși reprezintă o instalație în plus (în cascadă) într-un lanț de acționare, aceasta face posibilă eliminarea unor organe importante care altfel ar fi fost necesară. De exemplu, la locomotive diesel-hidraulice se elimină cutia de viteză și ambreiajul care în cazul unei locomotive diesel ar fi fost necesare. În plus, la puteri mari (1 000 — 2 000 kW) realizarea cutiei de viteze, dar mai ales a ambreiajului, devine practic imposibilă.

Dezavantajele sistemelor de acționare hidraulice sînt:

— pierderi relativ mari prin frecare în elementele componente (pompe, conducte etc.), pierderi care cresc rapid cu viteza de curgere a uleiului;

— cost relativ ridicat al elementelor componente datorită preciziei deosebite în prelucrarea acestora;

— pericol de incendiu datorită inflamabilității uleiului mineral.

2. GENERATOARE (POMPE) HIDRAULICE

Pompele folosesc pentru *transformarea energiei mecanice primită de la motorul electric (diesel) în energie hidraulică.*

Pompele hidraulice se pot clasifica astfel:

— *pompe cu debit variabil:* cu piston, cu paletă etc.;

— *pompe cu debit constant:* cu roţi dinţate, cu palete şi dublă acţiune etc.

● În figura 9.3 este prezentată schematic o **pompă cu debit variabil şi pistoane radiale.** Rotorul *R* are un număr de găuri cilindrice (de exemplu 6) dispuse radial, în care se deplasează un număr corespunzător de pistoane *P* a căror extremitate semicirculară calcă pe inelul *C* al carcasei pompei.

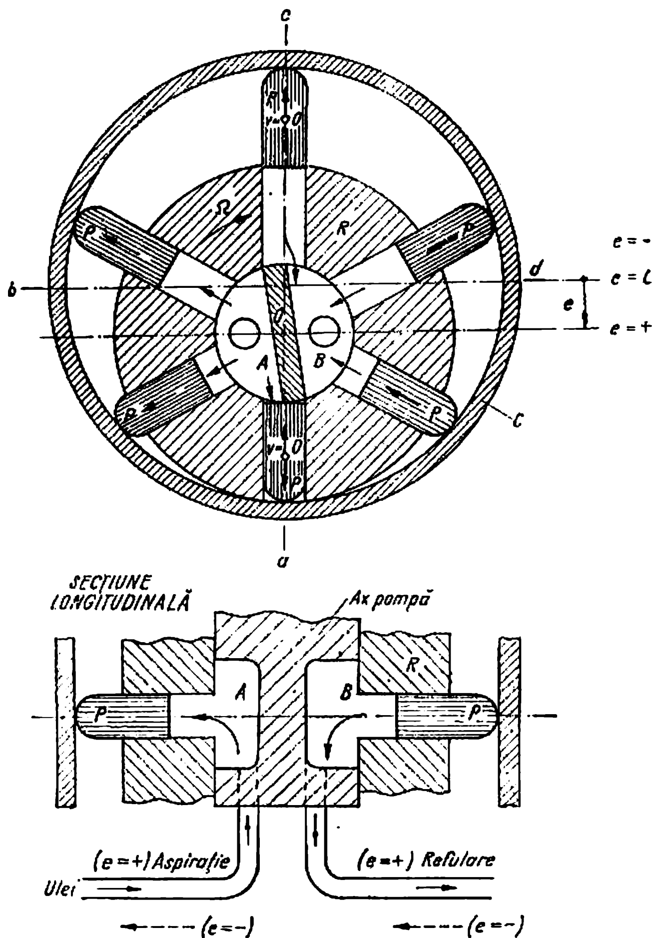


Fig. 9.3. Pompă (generator) hidraulică cu debit variabil şi pistoane radiale.

Prin rotire, datorită excentricității e a rotorului față de carcasă, pistoanele capătă o mişcare radială în cilindri conform sensului de rotație Ω. În acest caz, în porțiunea $a—b—c$ pistoanele îndepărtîndu-se succesiv de centrul de rotație O, cilindrii se umplu cu ulei din camera de aspirație A (v. şi secțiunea longitudinală), iar în porțiunea $c—d—a$ pistoanele apropiindu-se de centru împing uleiul din cilindri în conducta de refulare B.

Se observă că pompa îşi poate schimba sensul de refulare, prin modificarea excentricității e. Astfel, cînd $e = 0$, adică rotorul este centrat față de carcasă, pistoanele se rotesc însă nu se mai deplasează radial, astfel că debitul pompei este zero, iar cînd e devine negativ (axul rotorului trece deasupra centrului carcasei), compartimentele A şi B îşi inversează rolurile, deci sensul de pompare se schimbă.

● În figura 9.4 este prezentată tot o **pompă cu debit variabil** însă **cu palete.** Principial, au fost arătate numai două palete P_1 şi P_2 care, alunecînd în rotorul R şi fiind împinse radial cu ajutorul resortului spiral S sînt rotite în carcasa C. Datorită excentricității e a rotorului față de carcasă şi corespunzător sensului de rotație Ω uleiul este absorbit prin conducta A şi refulat în conducta B. Practic, se construiesc pompe cu 4—12 palete.

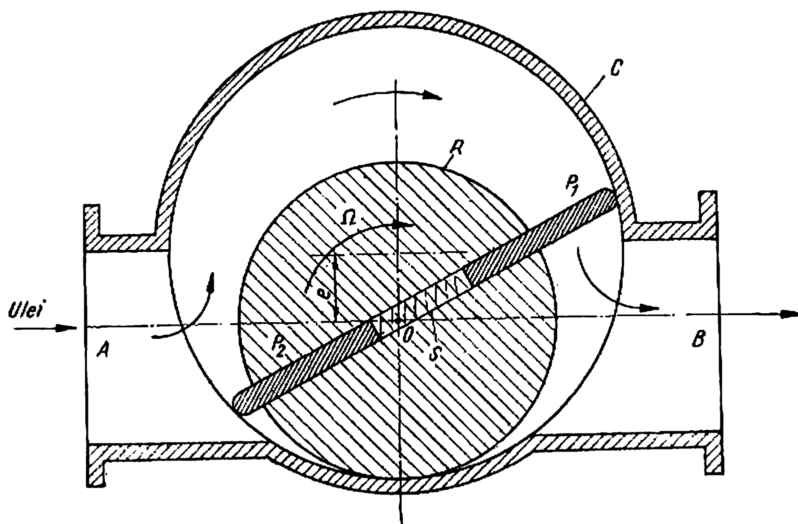


Fig. 9.4. Pompă hidraulică cu debit variabil şi palete.

● **Pompa cu roţi dinţate** din figura 9.5 funcţionează la presiuni înalte ($P_{max} = 500$ atm), însă la **debit constant.**

La rotirea roţilor dinţate identice *1* şi *2* închise în carcasa *3* se produce o rarefiere în camera de aspiraţie *4* şi o presiune în camera de refulare *5*. În acest mod uleiul din rezervorul *7* este absorbit prin conducta *8* şi transportat pe periferia pompei de către dinţii angrenajelor, pentru ca apoi să fie comprimat şi refulat prin conducta *6*.

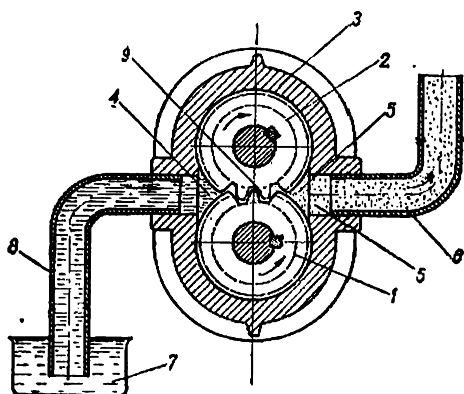


Fig. 9.5. Pompă hidraulică cu debit constant şi roţi dinţate.

3. MOTOARE HIDRAULICE

Toate pompele prezentate sînt reversibile, în sensul că fiind alimentate cu ulei sub presiune transformă energia acestuia în lucru mecanic, adică devin motoare hidraulice.

Practic, deşi maşinile hidraulice sînt reversibile, ca şi maşinile electrice, totuşi, similar cu acestea, se construiesc în mod special motoare hidraulice. Astfel, în figura 9.6 este arătat un motor hidraulic cu mişcare circulară şi pistoane axiale şi cu disc fix. Blocul cilindrilor *1* se roteşte solidar cu axul *2* al motorului, astfel că cele nouă pistoane se deplasează axial în mod succesiv, alunecînd pe discul înclinat *3* care are o înclinare fixă. Uleiul sub presiune intră prin orificiul din partea inferioară împingînd axial pistoanele care, pentru a-şi mări volumul cilindric, sînt obligate să alunece pe discul *3*, adică să rotească blocul cilindrilor *1*, deci axul *2*.

Motoarele hidraulice cu mişcare liniară sînt realizate sub forma unor pistoane ce se deplasează liniar în clindri.

4. APARATE HIDRAULICE

În circuitele sistemelor de acţionare hidraulică se utilizează o serie de aparate avînd funcţii similare celor folosite în circuitele electrice. Astfel, se întîlnesc *distribuitoare* (sertăraşe), *vane*, *supape* etc.

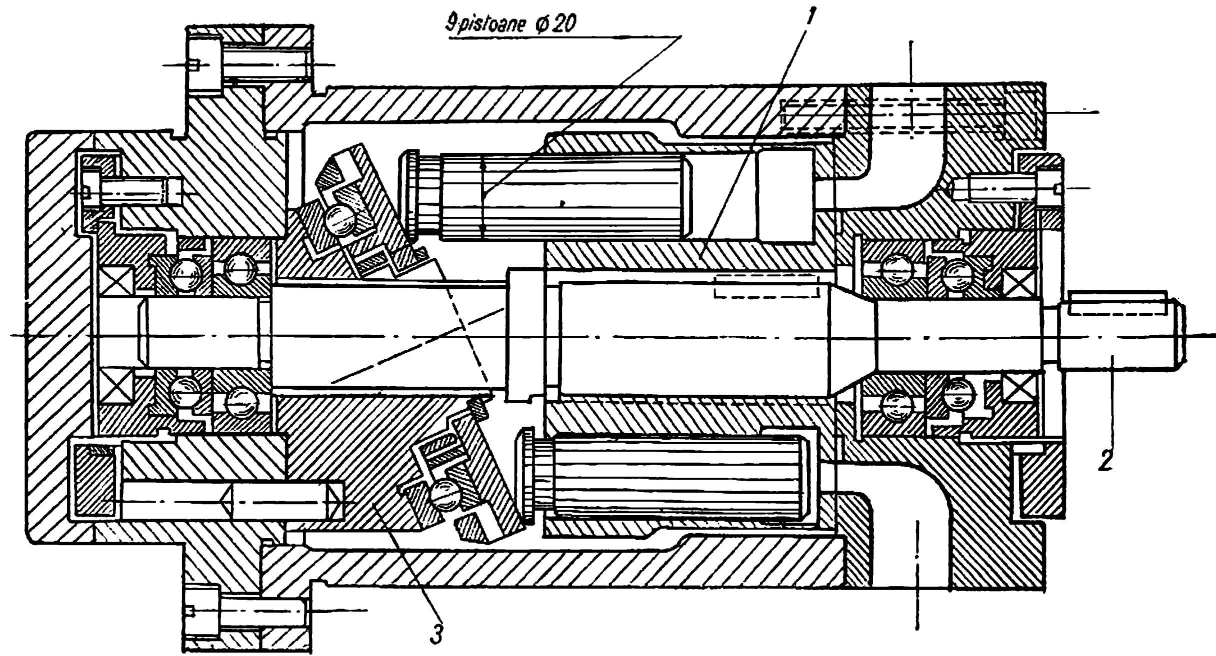


Fig. 9.6. Motor hidraulic cu pistoane axiale şi disc fix.

● **Distribuitoarele** (omoloage întreruptoarelor electrice) asigură stabilirea — întreruperea circulației de ulei în anumite conducte; ca exemplu, în figura 9.7 este prezentat un distribuitor rotativ cu cep conic care cuprinde corpul *1* (din oțel sau fontă) de formă conică, în care se introduce capul (axul) conic *2* (din bronz), etanșarea între suprafețele conice identice ale cepului și corpului fiind asigurată prin resortul spiral *3* care se sprijină pe capacul *4*. Trecerea uleiului se realizează prin canalele *5* și *6* (secțiunea *A—A*). Într-o poziție a cepului se permite circulația uleiului între orificiile *7* și *8*, respectiv *9* și *10*, iar în altă poziție, prin rotirea cepului cu 90°, circulația se poate face între orificiile *7* și *9*, respectiv *8* și *10*.

● **Sertărașele** (distribuitoare liniare) au funcții similare cu distribuitoarele rotative, însă deplasarea lor este liniară.

● **Supapele** sînt elemente care asigură deschiderea unui circuit hidraulic atunci cînd presiunea într-un sens de circulație depășește o anumită valoare. Funcțional, supapele pot avea rol de protecție („supapă de siguranță") deschizînd circuitul atunci cînd presiunea prea mare poate produce avarierea instalației respective; de asemenea supapele asigură circulația unidirecțională (ca o diodă electrică) într-o conductă, reținînd deplasarea lichidului în sens invers.

În afara acestor aparate, în acționările hidraulice se mai întîlnesc: *relee hidraulice*, *conducte*, *filtre*, *rezervoare* etc.

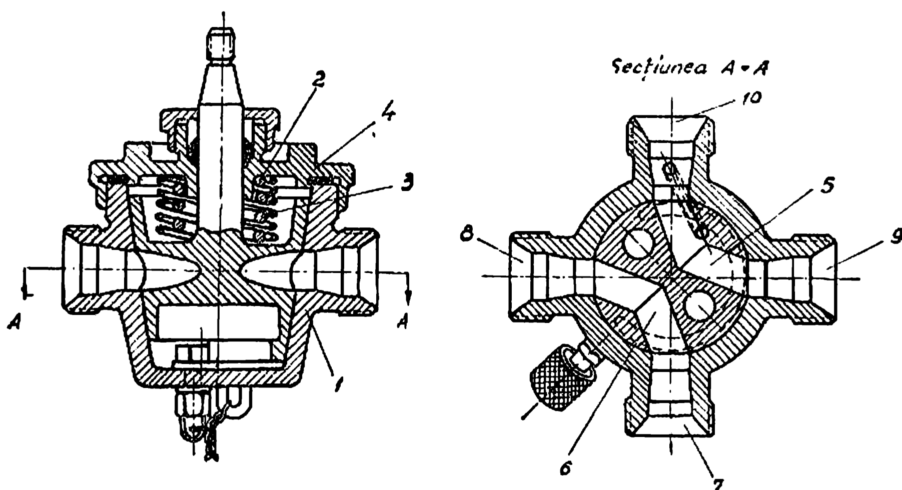


Fig. 9.7. Distribuitor rotativ cu cep (ax) conic.

C. ELEMENTELE SISTEMELOR DE ACŢIONARE PNEUMATICĂ

1. STRUCTURA SISTEMELOR PNEUMATICE

Schema de principiu a acţionărilor pneumatice este similară cu a celor hidraulice: generator-motor-sarcină, cu observaţia că ele se realizează numai cu circuit deschis (v. fig. 9.2, *b* şi *c*). Agentul motor folosit în sistemele de acţionări pneumatice este, de obicei, aerul comprimat la presiuni de 5—6 atm.

Acţionările pneumatice prezintă următoarele *avantaje* specifice în raport cu cele hidraulice:

— precizia mai redusă de executare a pieselor componente;

— se pot folosi în medii explozive sau cu pericol de incendiu;

— rapiditatea acţionării mecanismelor comandate datorită destinderii brusce a aerului comprimat;

— funcţionarea la temperaturi scăzute, neexistînd pericol de congelare sau sporirea viscozităţii agentului motor.

Similar, *dezavantajele* acţionărilor pneumatice sînt:

— datorită compresibilităţii gazelor presiunile, deci forţele realizabile sînt mai mici;

— prin comprimare şi destindere rapidă (transformări adiabatice) temperatura variază*, fapt care implică necesitatea unor instalaţii de răcire a gazului (la comprimare) şi posibilitatea condensării vaporilor de apă din aer (la destindere), apa fiind agent corosiv pentru instalaţie;

— gazele nu au proprietatea de ungere a pieselor în mişcare, ceea ce impune o întreţinere suplimentară.

2. GENERATOARE PNEUMATICE

Generatoarele pneumatice sînt similare celor hidraulice şi se clasifică astfel:

— *compresoare cu piston*;

— *compresoare rotative*;

— *turbocompresoare*.

● **Compresoarele cu piston** (fig. 9.8) cuprind pistonul P care, deplasîndu-se în jos în cilindrul C, absoarbe aerul din conducta A prin supapa S_A, iar la deplasarea în sus îl comprimă şi îl refulează în

* Conform relaţiei $PV = RT$, în care P este presiunea, V = volumul molar, R = constanta gazelor şi T — temperatura absolută pentru gazul respectiv.

conducta R (supapa S_A se închide) prin supapa S_R care se deschide la creşterea presiunii.

Compresoarele în cascadă sînt realizate din mai multe compresoare monocilindrice acţionate de un ax comun, la care refularea unei trepte corespunde cu admisia în treapta următoare, fapt care asigură presiuni mari de aer (20—30 atm).

● **Compresoarele rotative** (fig. 9.9) sînt compuse dintr-un stator cilindric şi un rotor cilindric cu o serie de palete plasate oblic în nişte crestături ale rotorului. În funcţionare, datorită forţelor centrifuge paletele sînt proiectate spre periferie, absorbind aerul din galeria de admisie şi comprimîndu-l în camera de ieşire. Compresorul respectiv este răcit cu apă.

Turbocompresoarele, de asemenea rotative, sînt generatoare pneumatice pentru debite mari (3 000—4 000 m³/min) şi presiuni relativ mici ($p < 6$ atm), funcţionînd la puteri şi turaţii mari.

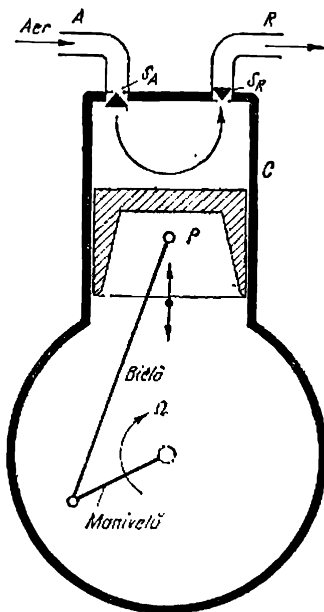


Fig. 9.8. Compresor cu piston.

3. MOTOARE PNEUMATICE

Motoarele pneumatice pot fi: *rotative* şi *liniare*, acestea din urmă putînd fi: *cu piston* sau *cu membrană*.

● **Motoarele pneumatice rotative** se realizează de obicei cu palete, fiind principial identice cu compresoarele rotative (v. fig. 9.9).

● **Motoarele pneumatice liniare cu piston** sînt folosite în cazul cînd sînt necesare deplasări mai mari (v. fig. 13.4).

Asemenea tipuri de motoare sînt folosite şi în acţionările hidraulice.

● **Motoarele pneumatice liniare cu membrană** sînt formate dintr-o capsulă manometrică prevăzută cu o membrană elastică (v. fig. 13.3).

4. APARATE PNEUMATICE

Sînt identice ca funcţiuni cu cele folosite la acţionările hidraulice: *distribuitoare*, *sertăraşe*, *supape*, *conducte*, *filtre* etc.

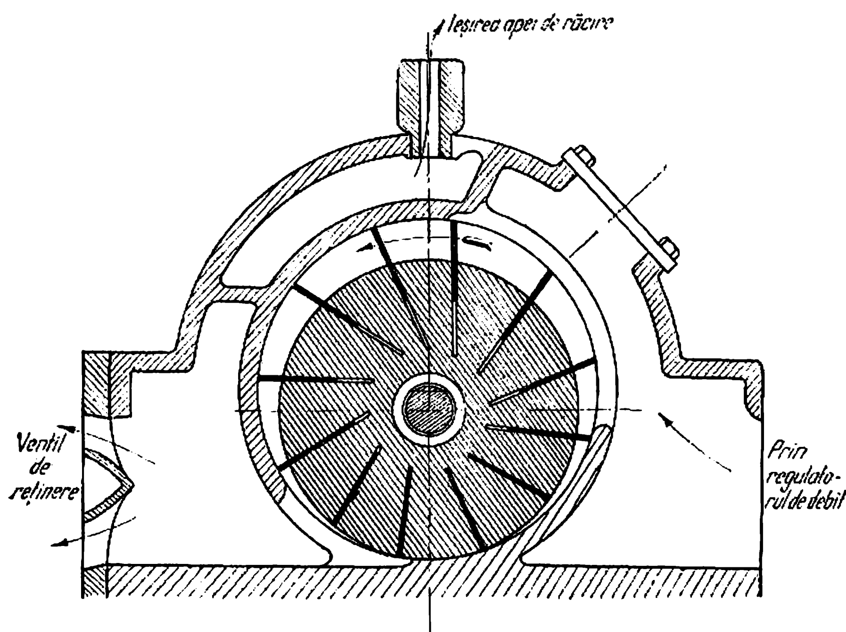


Fig. 9.9. Compresor rotativ cu palete.

D. SURSE DE ALIMENTARE

1. INTRODUCERE

În funcţie de complexitatea sistemului de acţionare hidraulică sau pneumatică, *pentru producerea agentului motor* (ulei sau aer comprimat) se foloseşte în cazul cel mai general o instalaţie completă denumită, ca şi în cazul acţionărilor electrice, **sursă de alimentare.**

Se vor distinge, aşadar, surse de alimentare hidraulice, respectiv pneumatice, care asigură uleiul sub presiune, sau aerul comprimat la parametrii impuşi de acţionarea respectivă.

Pentru ambele cazuri, sursele de alimentare (hidraulice sau pneumatice) se realizează sub forma a *două tipuri* diferite şi anume:

● **surse pentru alimentarea elementelor de măsurare, comandă, reglare** (ca, de exemplu: traductoare, amplificatoare, regulatoare etc.), caz în care interesează valoarea informaţională a presiunii uleiului sau

a aerului comprimat. Aceste surse se caracterizează prin presiuni mici şi puteri reduse;

● **surse pentru alimentarea motoarelor de acţionare hidraulice sau pneumatice,** caz în care interesează valoarea energetică (puterea) a presiunii uleiului sau aerului comprimat. Aceste tipuri de surse care interesează în cazul de faţă sînt caracterizate prin presiuni şi puteri mari.

● **Trebuie precizat faptul că** pentru ambele tipuri de surse arătate mai sus, structurile principiale sînt în linii generale aceleaşi; ele vor fi descrise mai jos.

2. SURSE HIDRAULICE

În figura 9.10 este prezentată *schema de principiu a unei surse de alimentare cu ulei sub presiune.* Pompa cu roţi dinţate P (v. fig. 9.5) acţionată de motorul electric M absoarbe uleiul dintr-un rezervor R cu „suprafaţă liberă“, adică la presiune atmosferică, printr-un filtru F_1 şi îl împinge într-un rezervor sub presiune A, numit conservator sau acumulator de ulei. În calea sa, uleiul străbate filtrul de ieşire F_2 „clapeta antiretur“ C — supapă — care asigură circulaţia unidirecţională a uleiului şi vana (ventil) de intrare V_A.

Rezervorul A este separat de o membrană elastică E în două compartimente (*1* şi *2*) în care se află ulei, respectiv aer comprimat adus de la un compresor prin vana V_B. În acest mod, aerul fiind compresibil asigură presiunea necesară uleiului, presiune care altfel nu ar fi putut să fie realizată întrucît uleiul (ca în general toate lichidele) este incompresibil. Uleiul sub presiune este transmis prin vana V_0 la o „bară de distribuţie“ C, de la care printr-o serie de vane individuale V_1, V_2... este trimis la „utilizare“ (diverse motoare de acţionare hidraulică). Uleiul „uzat“ adică practic la presiunea atmosferică, este colectat pe o bară B (conductă) şi prin conducta de „retur“ este adus înapoi în rezervorul R, de unde îşi reia circuitul.

Rezervorul R mai cuprinde o serie de pereţi verticali S parţial despărţitori alternînd sus şi jos, care constituie „şicane“ în drumul uleiului de la retur la filtrul de absorbţie F_1. Acest lucru asigură decantarea (depunerea) particulelor solide care se formează în ulei. O vană de fund D permite eliminarea („purjarea“) reziduurilor solide din ulei în atmosferă. Sistemul mai este prevăzut la ieşirea din pompă cu o vană de strangulare cu supapă de asiguranţă L, care îndeplineşte următoarele funcţiuni:

— conduce înapoi în rezervor surplusul de ulei pompat atunci cînd consumul de ulei este redus*;

---

* Evident, pompa (generatorul) P care funcţionează continuu trebuie să asigure debitul necesar de ulei în cazul consumului maxim.

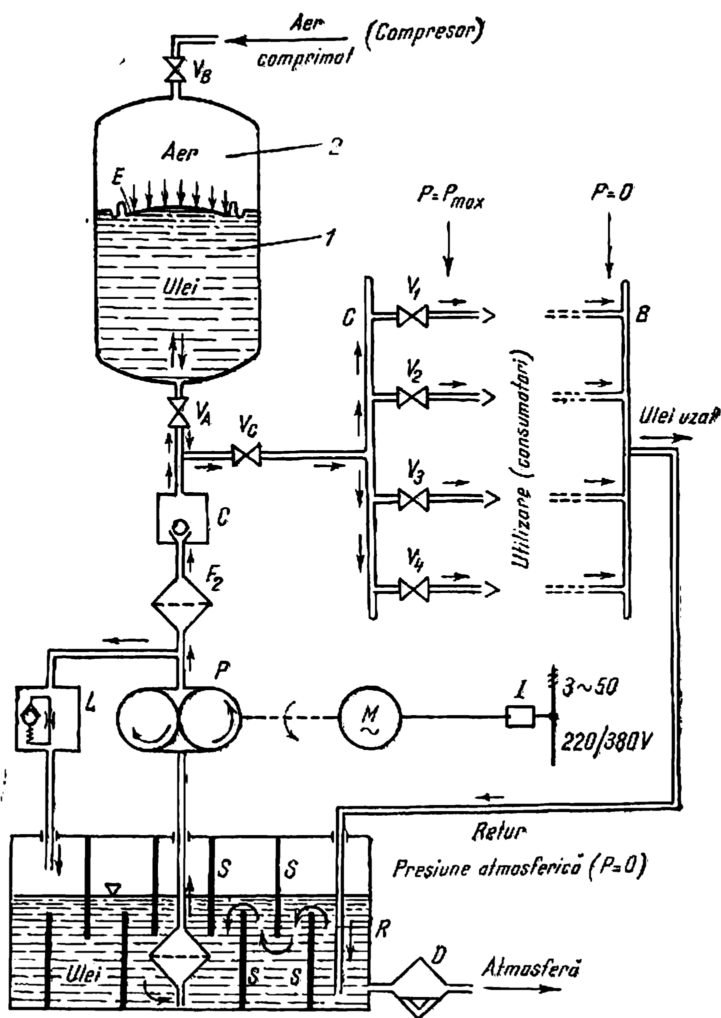


Fig. 9.10. Schema principială a unei surse hidraulice.

— deschide brusc supapa de siguranță care asigură circulația uleiului înapoi în rezervorul R, atunci cînd presiunea sa atinge o valoare inadmisibilă.

În figura 9.11 este prezentată *schema principială a unei surse pneumatice*. Compresoarele — generatoarele pneumatice — C_1, C_2... antrenate de motoare electrice M_1, M_2... absorb aerul din atmosferă printr-un filtru F_1, refulîndu-l prin schimbătoare de căldură S_1, S_2..., vane V_1, V_2... și un filtru F_2 în rezervorul („tampon") de aer R.

Schimbătoarele de căldură (răcitoarele) răcite cu apă au rolul de a prelua căldura degajată de aerul comprimat (adiabatic) la ieșirea din compresoare.

Rezervorul asigură o anumită rezervă de aer („tampon") în perioada în care compresoarele nu funcționează, motoarele electrice fiind comandate (pornite-oprite) prin „releele pneumatice" P_1, P_2... alimentate chiar cu aer din rezervor*.

Rezervorul respectiv este prevăzut cu un ventil de curățire E — „purjor" — în atmosferă și cu o supapă de siguranță A — „eșapare

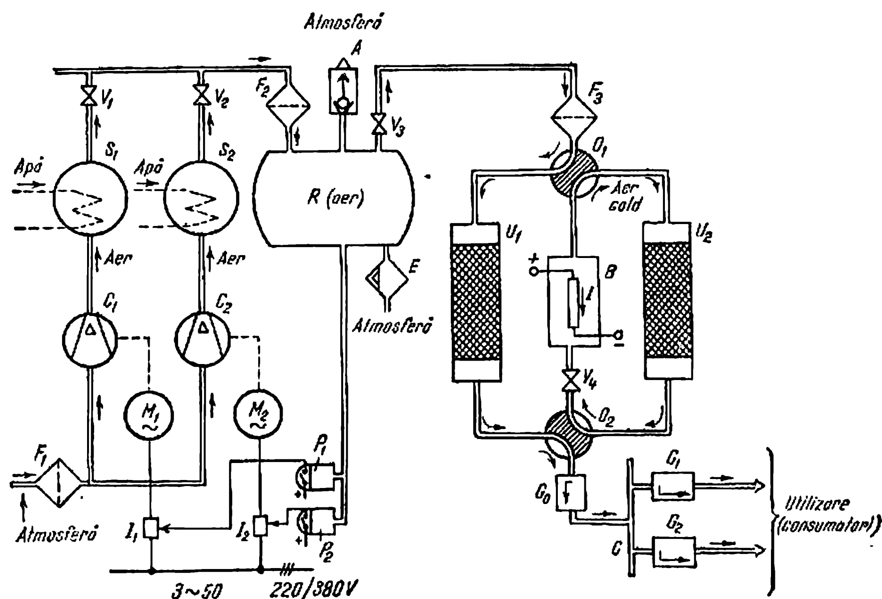


Fig. 9.11. Schema principială a unei surse pneumatice.

* În acest mod se asigură pornirea motocompresoarelor cînd presiunea scade (de exemplu $P < 1{,}4$ atm) și oprirea acestora cînd presiunea depășește o anumită valoare ($P > 1{,}6$ atm).

rapidă“ — care se deschide în atmosferă în cazul unei presiuni periculoase în rezervor. Din rezervor, aerul comprimat este trimis printr-o vană V_3 şi un filtru F_3 printr-o coloană de uscare (U_1 sau U_2) către conducta de utilizare C.

Coloanele de uscare au rolul de a elimina vaporii de apă din aer care au fost absorbiţi din atmosferă o dată cu aerul.

Uscarea aerului se realizează de obicei pe cale chimică, folosind substanţe absorbante cum ar fi, de exemplu, oxidul de siliciu sau alumina.

● **Atenţie!** Prezenţa vaporilor de apă sau a condensului în aerul comprimat riscă să înfunde unele orificii sau să producă coroziunea metalelor din instalaţie.

Cu ajutorul unor distribuitoare cu două căi (D_1 şi D_2) — vezi figura 9.7. — aerul este trecut printr-una din coloanele de uscare (U_1) cuprinzînd oxidul de siliciu, în timp ce cealaltă (U_2) este „regenerată“ prin suflarea cu aer cald de la un cuptor electric B. Prin manevrarea simultană a celor două distribuitoare, cele două coloane îşi inversează funcţiile. La intrarea pe bara de distribuţie C, precum şi pe fiecare conductă de alimentare a consumatorilor, se prevăd „regulatoare directe“ de presiune G_0, G_1, G_2 ... care asigură o presiune p_0 constantă la utilizare (de exemplu $p_0 = 1{,}4$ atm).

După folosire, aerul „uzat“ este eliminat, bineînţeles, în atmosferă.

E. EXEMPLE DE ACŢIONĂRI HIDRAULICE ŞI PNEUMATICE

● În figura 9.12 este prezentată principial **schema de acţionare a unei prese hidraulice.** Uleiul sub presiunea p_1 (de exemplu $p_1 = 300$ atm) obţinut de la sursa de alimentare este refulat prin distribuitorul D (canalul *1—2*) în cilindrul C al motorului liniar M. Pistonul P deplasează platforma F comprimînd (presînd) sarcina S. În acelaşi timp, uleiul uzat este condus prin distribuitor (canalul *3—4*) înapoi la sursă. Prin rotirea cu 90° a distribuitorului D (canalele *1—3* şi *2—4*), motorul liniar se deplasează invers.

● În figura 9.13 este prezentată **schema de acţionare pneumatică a unui separator electric.** Prin manevrarea manetei M în poziţia „închis“, sertăraşul S (distribuitor liniar) se deplasează ca în figură, aerul comprimat din rezervorul R trece prin compartimentul *1* în conducta I şi împinge pistonul P în cilindrul C, acţionînd la închidere separatorul E. Se observă că aerul din spatele pistonului este evacuat în atmosferă prin conducta D şi compartimentul *2*.

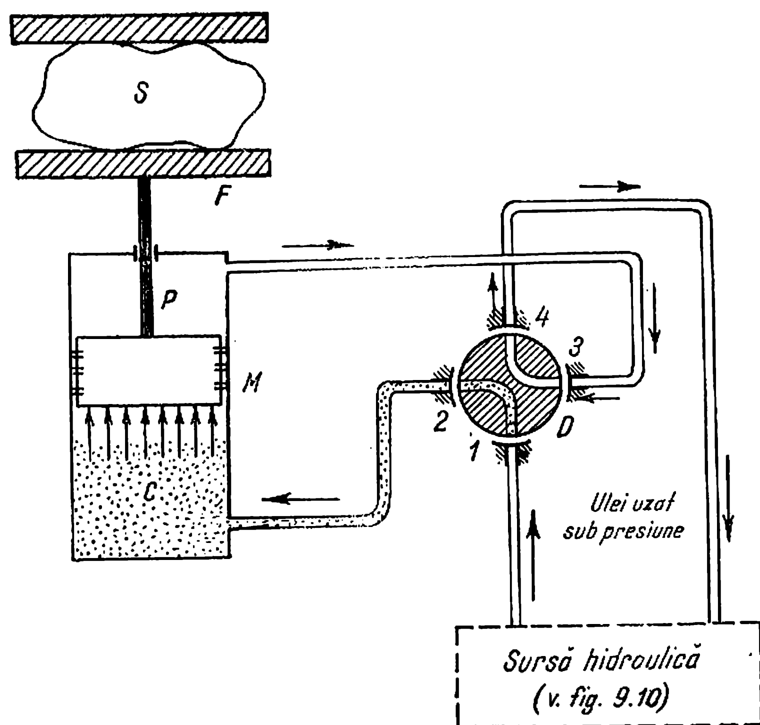


Fig. 9.12. Acţionarea unei prese hidraulice.

La manevrarea manetei *M* în sens invers („deschis") deplasarea sertăraşului este inversă (desenată punctat), iar pistonul *P* este acţionat invers producînd deschiderea separatorului.

○ **Observaţie.** Exemplul cu separatorul reprezintă un caz din multe altele; este uşor de observat că în locul cuţitului separatorului se putea afla un organ de maşină cu o mişcare similară, de exemplu: uşa unui cuptor, o paletă de reglare în circuitul unui fluid, cîrma unui vas etc. De asemenea, în locul aerului comprimat se putea folosi ulei sub presiune, acelaşi exemplu fiind valabil şi pentru o acţionare hidraulică, cu observaţia că uleiul uzat trebuie recuperat.

● În unele cazuri pentru a îmbina avantajele sistemelor hidraulice şi a celor pneumatice se folosesc sisteme de acţionare mixte (hidraulice + pneumatice) numite şi sisteme *oleopneumatice*. Astfel, de exemplu, în figura 9.14 este prezentat un sistem de acţionare oleopneumatic

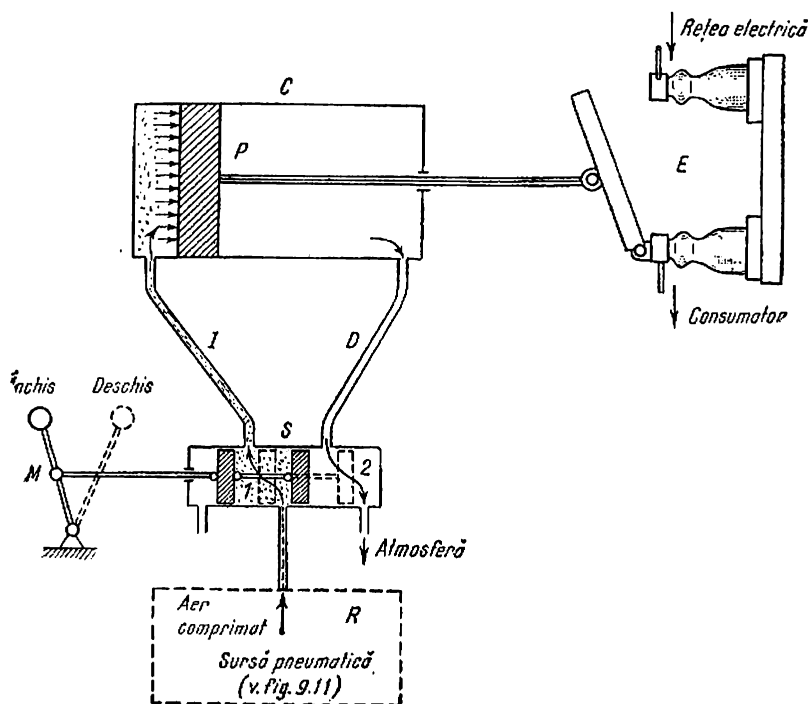


Fig. 9.13. Acționarea pneumatică a unui separator electric.

(tip MOP) folosit la comanda întreruptoarelor de 110, 220 și 400 kV, de tip I.O., fabricate la Întreprinderea „Electroputere" din Craiova.

Pompa (generatorul) de ulei *P* acționată de motorul electric *M* absoarbe uleiul uzat și îl împinge în acumulatorul de energie *A* (realizat sub forma unui cilindru cu piston), precum și în rezervorul tampon *T* aflat în derivație. Presiunea înaltă a uleiului (circa 300 atm) este realizată cu ajutorul unei butelii *B* conținînd azot sub presiune ($p > 300$ atm), ce acționează asupra pistonului *E* din acumulatorul *A*. Uleiul sub presiune este adus la intrarea „electroventilelor" de comandă V_I și V_D. Pentru închiderea întreruptorului *I* de înaltă tensiune este comandată electric de la distanță bobina B_I („motor solenoidal" — v. fig. 13.2) prin butonul de comandă O_I, ceea ce are ca efect deschiderea ventilului V_I. Uleiul sub presiune pătrunde prin conducta C_I și împingînd în jos pistonul motorului liniar *L* (v. fig. 13.4) produce închiderea întreruptorului *I*.

Totodată, prin conducta K_I este acționat tot cu ulei sub presiune „releul hidraulic" S care, închizînd contactul electric E_I, aprinde lampa L_I și semnalizează astfel „întreruptor închis". Similar, comanda electrică de declanșare dată prin butonul O_D și bobina B_D produce deschiderea electroventilului V_D și trimiterea uleiului sub presiune la motorul L, care este acționat în sens invers producînd deschiderea întreruptorului I. Concomitent, prin conducta K_D este acționat în sens invers și releul de semnalizare S, care prin închiderea contactului electric E_D aprinde lampa L_D indicînd astfel „întreruptor deschis".

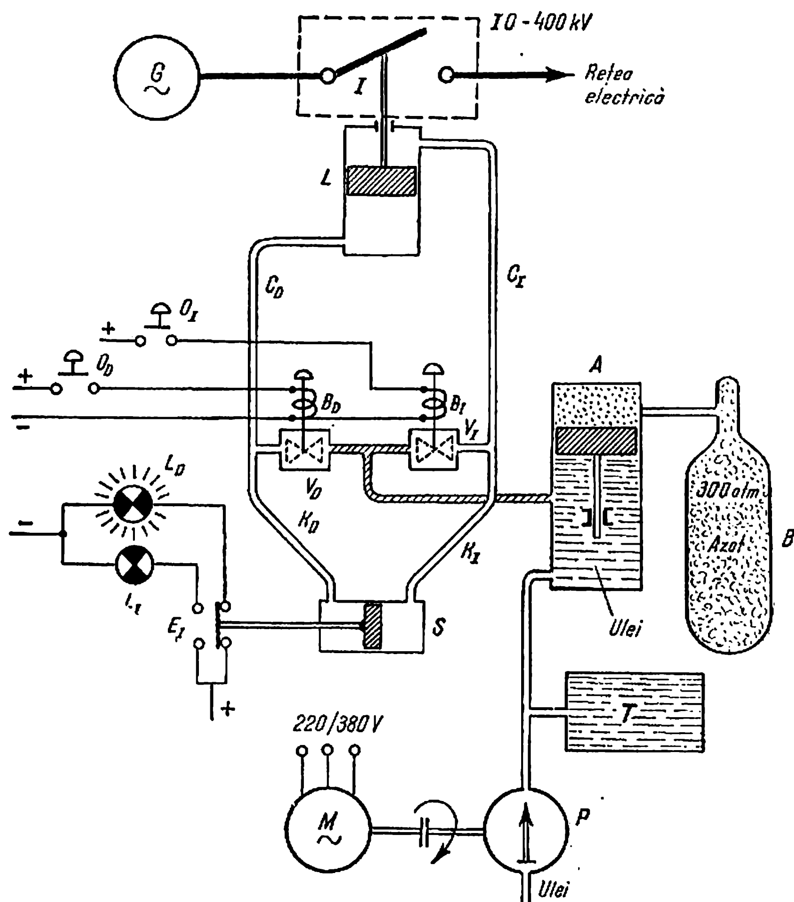


Fig. 9.14. Sistem de acționare oleopneumatic al întreruptorului I.O. 110—400 kV.

Constructiv, dispozitivul de acționare oleopneumatic prezentat mai cuprinde o serie de elemente care blochează manevrarea întreruptorului în anumite condiții ca, de exemplu: presiunea azotului este redusă, cantitatea de ulei este insuficientă etc.

REZUMAT

1. Ca şi acționările electrice, acționările hidraulice (pneumatice) cuprind următoarea succesiune de elemente hidraulice (pneumatice):

GENERATOR (pompă) → APARATE → MOTOR-SARCINĂ

2. La majoritatea acționărilor hidraulice (pneumatice), generatoarele sînt antrenate de motoare electrice şi uneori de motoare diesel (de exemplu locomotiva diesel-hidraulică).
3. Avantajele principale ale sistemelor hidraulice constă în obținerea unor forțe mecanice mari eliminînd unele organe suplimentare din instalație.
4. Avantajele principale ale sistemelor pneumatice constă în folosirea lor în medii explozive şi la orice temperatură a mediului ambiant.
5. Dezavantajele sistemelor hidraulice şi pneumatice rezidă în costurile de investiție şi întreținere suplimentare.

VERIFICAREA CUNOŞTINȚELOR

1. Acționările pneumatice se realizează:
   a) numai cu circuit închis?
   b) numai cu circuit deschis?
   c) cu circuit deschis sau închis?
2. Acționările pneumatice prezintă față de cele electrice următoarele avantaje principale:
   a) simplifică şi deci ieftineşte instalația în ansamblu?
   b) pot fi folosite în orice mediu?
   c) asigură turații mai mari maşinilor antrenate?
3. Pompa hidraulică cu roți dințate poate asigura:
   a) debite mari în circuite?
   b) presiuni şi debite variabile?
   c) presiuni mari?
4. Acționările hidraulice prezintă față de cele pneumatice următoarele avantaje:
   a) realizează viteze de lucru mai mari?
   b) nu sînt supuse la îngheț?
   c) asigură forțe mai mari?

CAPITOLUL 10

INTRODUCERE ÎN AUTOMATICĂ

A. OBIECTUL ŞI IMPORTANŢA AUTOMATICII

În procesele de producere a bunurilor materiale, o importanţă deosebită o are automatizarea acestor procese, adică realizarea lor fără participarea directă a omului.

Un proces de producţie — tehnologic — are loc într-o instalaţie tehnologică şi se desfăşoară în anumite condiţii fizice, fiind caracterizat (fig. 10.1) de:

— cantităţi (fluxuri) de materie şi energie F_i transmise procesului în unitatea de timp (fluxuri de intrare);

— cantităţi de materie şi energie F_e extrase din proces în unitatea de timp (fluxuri de ieşire);

— cantităţi de materie şi energie F_a acumulate (stocate) în proces (în instalaţia tehnologică) în unitatea de timp.

Este evident că, în conformitate cu legea conservării materiei (energiei), aceste trei fluxuri: F_i, F_e şi F_a sînt interdependente pe baza următoarei *ecuaţii de bilanţ:*

$$F_i - F_e = F_a. \tag{10.1}$$

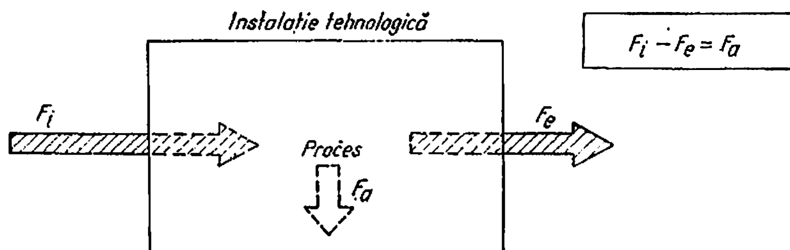


Fig. 10.1. Schema bloc a unei instalaţii tehnologice.

În cazul particular în care $F_a = 0$, procesul se află în *regim staționar*:

$$F_i - F_e = F_a = 0, \qquad (10.2)$$

sau:

$$F_i = F_e. \qquad (10.3)$$

Fluxurile de materie și energie care contribuie la realizarea proceselor de producție sînt caracterizate printr-o serie de mărimi fizice (parametri) între care există relații de interdependență, consecințe a unor legi cunoscute din fizică. De exemplu, la un cazan pentru producerea aburului intervin o mulțime de parametri, cum sînt: debitul, temperatura și presiunea aburului, debitul combustibilului și a apei de alimentare, capacitatea calorifică a combustibilului, temperatura în focar, temperatura mediului înconjurător etc. Aceste mărimi sînt legate între ele printr-o serie de legi: transmisia căldurii prin pereți (legea Fourier), conservarea energiei etc. Datorită acestui fapt, modificarea în procesul de producție a unora dintre acești parametri datorită necesităților tehnologice din afara instalației respective (mărimi perturbatoare) atrage după sine modificarea corespunzătoare a altor parametri din interiorul instalației. Astfel, în exemplul de mai sus, debitul de abur variind în funcție de consum pe baza legilor amintite, temperatura și presiunea aburului debitat de cazan vor varia și ele.

Se observă deci, din exemplul dat, că satisfacerea unei necesități a producției, și anume furnizarea unui debit variabil de abur influențează asupra calității acestuia în sensul că temperatura și presiunea aburului respectiv cresc sau scad. Această deficiență este remediată de către omul care exploatează instalația respectivă; acesta măsoară sau controlează valoarea parametrilor care-l interesează (în exemplul dat, măsoară temperatura și presiunea), adică se „informează“ asupra procesului și comandă modificarea prin anumite elemente ale instalației (în exemplul dat, comandă admisia cantității de combustibil și de apă de alimentare, prin deschiderea sau închiderea unor vane). În alte cazuri, procesul de măsurare a unor parametri din instalație este însoțit simultan de comanda instalației respective, astfel ca acei parametri să fie menținuți la valori dorite (prescrise). Se spune că parametrii respectivi se *reglează*.

Aceste funcțiuni, de: *măsurare*, *comandă*, *reglare*, precum și altele, ce vor fi analizate în cele de urmează, au fost scoase treptat de sub acțiunea directă a omului și trecute în seama unor dispozitive de automatizare ce se studiază în cadrul disciplinei numită *automatică*.

Automatica *este o ramură a științei și tehnicii care cuprinde totalitatea metodelor și a mijloacelor tehnice de stabilire a unor legături corespunzătoare între instalațiile tehnologice și dispozitivele nou introduse, astfel încît*

conducerea proceselor de producție să se desfășoare fără intervenția directă a omului.

Așadar, se poate spune în linii generale că relația „om-instalație tehnologică" cuprinde două funcții generale, distincte (fig. 10.2):

— funcția de informare a omului asupra mărimilor din procesul tehnologic, realizată de la instalație spre om;

— funcția de comandă a procesului tehnologic de către om, realizată de la om spre instalație.

Aceste două funcții generale sînt interdependente și corelate între ele, în sensul că informarea asupra procesului determină comanda elementelor din instalație (sau proces), în timp ce consecința comenzii este modificarea parametrilor din proces, care determină o nouă informare ș.a.m.d.

Această dublă relație OM-MAȘINĂ, concretizată prin funcțiile generale de informare și comandă, poartă denumirea de *conducere* sau *dirijare* a mașinii, a instalației sau a procesului respectiv.

Atît timp cît conducerea instalației (a procesului) se efectuează de către om („operator uman"), ea se numește conducere neautomată (sau, impropriu-zis, „manuală"), înțelegînd prin aceasta intervenția manuală a omului.

Preluarea funcțiilor omului de către dispozitive de automatizare (automate) reprezintă **conducerea automată** sau **automatizarea instalației (a procesului) respective.**

Funcțiile complexe de informare și comandă sînt similare cu cele arătate în figura 10.2, cu observația că în locul omului a apărut dispozitivul de automatizare (fig. 10.3).

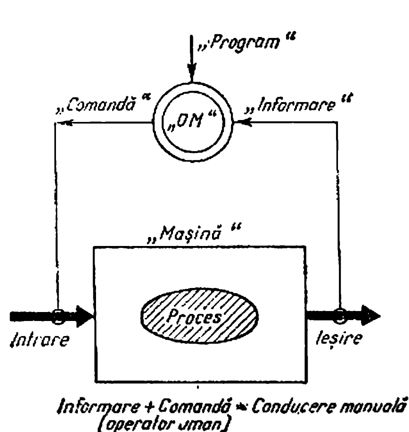


Fig. 10.2. Relația „om-instalație".

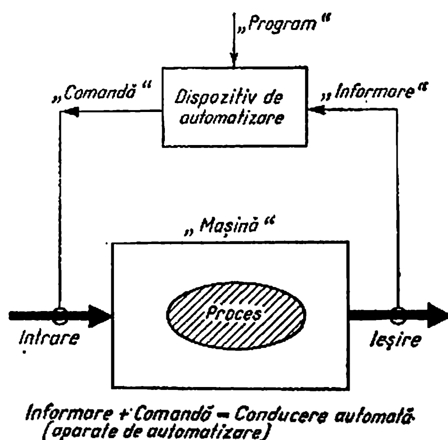


Fig. 10.3. Relația „automat-instalație."

Ansamblul instalații tehnologice — dispozitiv de automatizare poartă numele de **instalație (sistem) automată.**

După cum se va vedea mai departe, se disting: sisteme de măsurare automată, sisteme de comandă automată, sisteme de reglare automată etc.

În cadrul funcțiilor generale enumerate mai sus se definesc următoarele funcții elementare întîlnite în automatică: *măsurarea*, *comanda* și *semnalizarea.*

În afara acestor funcții elementare, în automatică se mai întîlnesc și alte funcții cu caracter complex, care pot fi considerate ca o combinare a celor elementare; astfel sînt: *reglarea*, *controlul*, *protecția* etc.

● **Măsurarea** reprezintă *informarea cu caracter cantitativ asupra mărimilor din procesul tehnologic.* Prin măsurare se asigură, de exemplu, determinarea valorilor presiunii, temperaturii, debitului, puterii etc. În funcție de caracterul semnalului, măsurarea poate fi:

— *continuă*, atunci cînd valorile măsurate ale parametrilor sînt transmise permanent;

— *discontinuă (discretă)*, atunci cînd valorile respective sînt transmise din timp în timp (de exemplu: automat, din minut în minut sau „la cerere“, adică după dorința unui operator).

● **Semnalizarea** reprezintă *informarea cu caracter calitativ asupra situației de stare (poziție) sau de funcționare a unor elemente din instalație sau a instalației în ansamblu*; de exemplu: poziția închis-deschis a unor vane sau întreruptoare, ieșirea din limite (sub-peste) a unor parametri, funcționarea normală-anormală (avarie) a instalațiilor etc.

Se constată caracterul discontinuu (discret) de tip binar („da-nu“) al semnalizării, adică posibilitatea de asociere la cele două stări a celor două semne logice elementare (1 sau 0).

Semnalizarea (prin definiție discontinuă) poate fi:

— *optică*, adică cînd este finalizată prin aprinderea („1“) a unui bec stins („0“);

— *acustică*, atunci cînd este finalizată prin sonerie sau hupă.

● **Comanda** reprezintă acțiunea cu caracter cantitativ sau calitativ asupra situației de stare sau de poziție a unor elemente din instalația tehnologică în scopul modificării continue, respectiv discontinue, a valorilor unor parametri; de exemplu: comanda de modificare a poziției unor vane sau ventile, comanda de închidere-deschidere a unor întreruptoare, comanda de pornire-oprire a motoarelor, comanda de sortare bun-rebut a unor piese etc.

Așa cum rezultă din exemplele de mai sus, comanda poate fi:

— *continuă*, atunci cînd acțiunea are caracter cantitativ, conducînd la modificări continue ale unor organe de execuție sau mașini (varierea poziției vanelor, varierea vitezei motoarelor etc.) în scopul modificării

continue a parametrilor din instalație (de exemplu debit — cantitate de substanță — viteză etc.);

— *discontinuă*, atunci cînd acțiunea are caracter calitativ, conducînd la modificări discrete ale unor organe de execuție sau mașini (deschiderea-închiderea vanelor, pornirea-oprirea motoarelor etc.), în scopul modificării discontinue a parametrilor din instalație („tot sau nimic").

● **Reglarea** reprezintă *comanda unor elemente din instalația tehnologică, deci modificarea unor mărimi aferente procesului tehnologic, în scopul menținerii unuia sau a mai multor parametri la anumite valori prescrise* — mărime „program" sau „de consemn" (de exemplu, menținerea constantă a temperaturii aburului dintr-un cazan sau menținerea constantă a tensiunii unui generator electric) — v. cap. 17.

Sistemele de reglare automată se mai numesc și *sisteme automate cu circuit închis*, spre deosebire de celelalte descrise anterior, care se numesc cu circuit deschis.

● **Controlul** reprezintă o funcție complexă de automatizare, prin care *măsurarea continuă a unui parametru se efectuează în scopul sesizării momentului în care parametrul respectiv a ieșit din anumite limite prescrise.* Caracterul discontinuu al controlului este pus în evidență, de obicei, printr-o semnalizare (optică sau acustică), prin care se finalizează procesul de măsurare.

De exemplu: temperatura este sub 500°C (semnal „0" sau peste 500°C (semnal „1") sau presiunea este cuprinsă între 18 și 25 atm (semnal „0") sau a scăzut sub 18 atm ori a depășit 25 atm (semnal „1").

În cazul în care controlul se referă la calitatea unor produse, el poate fi finalizat nu numai printr-o semnalizare, ci printr-o comandă discontinuă, care într-o formă adecvată, separă produsele bune (semnal „0") de cele rebutate (semnal „1"). Acest sistem de control se numește *sortare automată*.

● **Protecția** reprezintă o funcție complexă de automatizare prin care *măsurarea continuă a unor parametri din instalație se efectuează în scopul sesizării momentului în care instalația condusă s-a defectat parțial sau total, comandîndu-se oprirea părților defecte, sau a instalației în ansamblu.* Trebuie observat că: comanda trebuie să fie discontinuă (închiderea vanelor, deschiderea întreruptoarelor etc.) și ireversibilă, adică comanda rămîne definitivă independent de valoarea parametrilor măsurați ulterior, pînă ce defecțiunile au fost remediate și instalația este repusă în funcțiune.

Funcțiile complexe din automatică nu sînt limitate, ci ele pot apărea pe măsura dezvoltării proceselor tehnologice, deci pe măsura dezvoltării automatizărilor.

B. NECESITATEA ŞI AVANTAJELE AUTOMATIZĂRII PRODUCŢIEI

Necesitatea introducerii automatizărilor rezidă în *avantajele* substanţiale pe care aceasta le oferă:

— eliberarea omului de la conducerea nemijlocită, directă, a proceselor şi instalaţiilor tehnologice de producţie, activitate umană obositoare şi depăşită în actualul stadiu de dezvoltare a tehnicii. În acest mod se reduce atît munca fizică, cît şi munca intelectuală necreatoare, de rutină;

— creşterea vitezei de lucru a maşinilor şi utilajelor şi, implicit, creşterea apreciabilă a producţiei şi a productivităţii muncii; procesul de producţie decurge ritmic, fără timpi morţi sau timpi de odihnă;

— folosirea intensivă a agregatelor, maşinilor şi utilajelor prin creşterea indicatorilor de utilizare ai acestora;

— realizarea proceselor de producţie în condiţiile creşterii substanţiale a calităţii produselor;

— reducerea considerabilă a cheltuielilor de producţie prin reducerea consumurilor specifice de materie primă şi materiale.

Deşi introducerea automatizării implică investiţii suplimentare, reducerea cheltuielilor pe ansamblul investiţiei şi implicit reducerea costului produselor sînt evidente.

C. FAZELE EVOLUTIVE ALE PROCESELOR DE PRODUCŢIE

1. PROCESUL MANUAL

Pe măsura dezvoltării ştiinţei şi tehnicii, procesele de producţie au suferit o transformare continuă, respectiv o reducere treptată a muncii fizice a omului, compensată de o creştere corespunzătoare a muncii intelectuale.

În procesul manual (fig. 10.4, *a*), omul cedează instalaţiei tehnologice energia mecanică necesară din însăşi forţa sa musculară. Evident că şi procesul de conducere se manifestă prin acelaşi „canal energetic".

2. MECANIZAREA

Prin folosirea energiei mecanice obţinute de la diverse tipuri de motoare — în special motoare electrice — procesele de producţie cunosc o nouă fază de dezvoltare: *mecanizarea*. În procesul de mecanizare omul conduce instalaţia tehnologică (se informează şi comandă), însă motorul este acela care o acţionează (fig. 10.4, *b*).

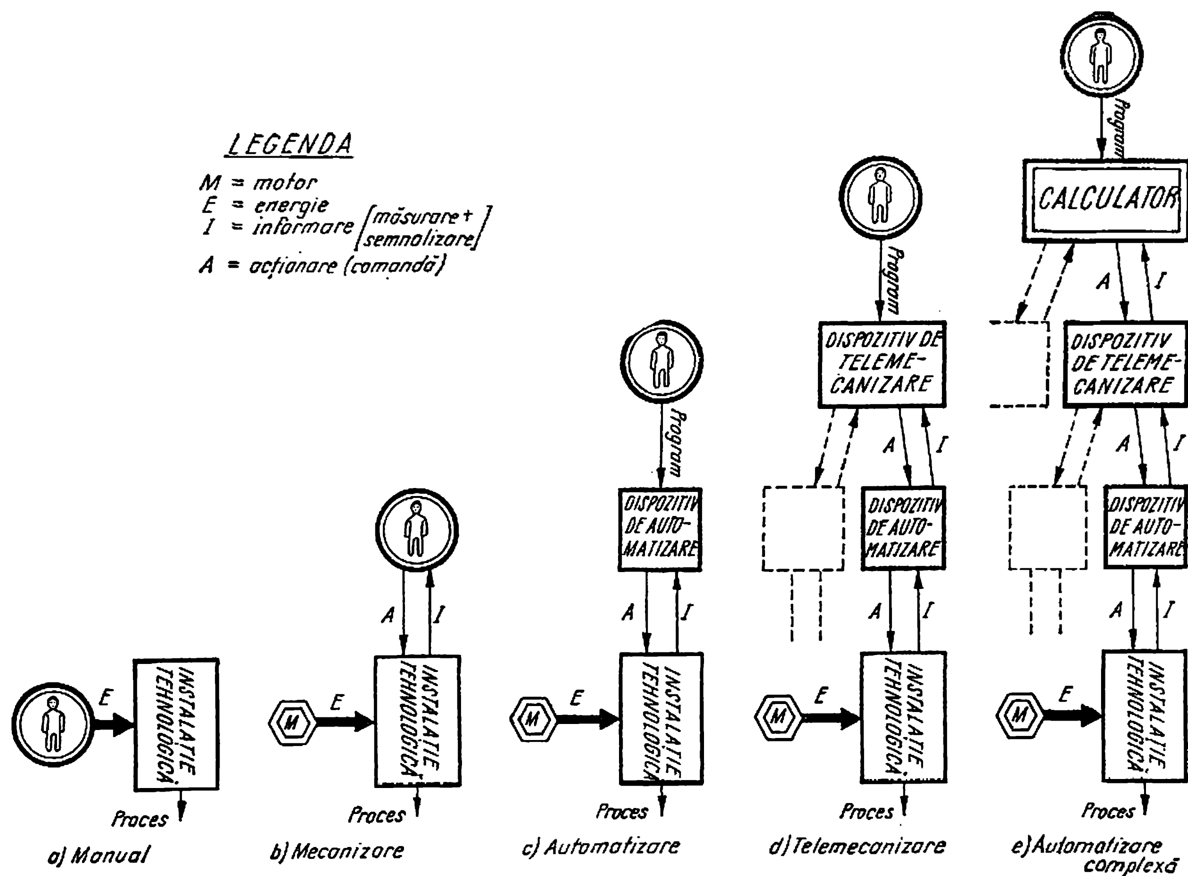


Fig. 10.4. Fazele evolutive ale proceselor de producție.

3. AUTOMATIZAREA

S-a arătat că prin introducerea automatizării funcția omului este preluată de dispozitivul de automatizare (fig. 10.4, *c*). Omul nu mai trebuie deci să comande închiderea sau deschiderea unor vane, pornirea sau oprirea unor agregate etc., sarcina respectivă trecînd în seama elementelor de automatizare.

Pentru introducerea automatizării este necesar, de exemplu, ca întrerupătoarele să fie prevăzute cu dispozitive de comandă, vanele — cu motoare de acționare (servomotoare) etc., adică instalația în ansamblu sau părțile din instalație supuse automatizării trebuie să fie în prealabil mecanizate.

4. TELEMECANIZAREA

Uneori, o serie de instalații tehnologice repartizate pe o suprafață relativ mare pot lucra într-o legătură funcțională de interdependență, constituind o instalație complexă.

Conducerea la distanță a unor obiecte dispersate pe un teritoriu relativ mare, la distanțe de zeci sau sute de kilometri, necesitînd o serie de canale de legătură (linii fizice sau prin radio etc.) prin care să se transmită diversele „semnale" de măsurare, comandă, semnalizare etc. reprezintă telemecanizarea instalațiilor respective.

Știința care se ocupă de telemecanizare poartă numele de *telemecanică* (v. cap. 18).

Telemecanizarea unei anumite instalații tehnologice presupune o automatizare completă a obiectivului respectiv (fig. 10.4, *d*).

5. CONDUCEREA PRIN CALCULATOR

Cea mai înaltă formă de organizare a proceselor de producție o reprezintă conducerea prin calculator a proceselor de producție, fază care se mai numește și „automatizare complexă" (fig. 10.4, *e*). Aceasta constă în prevederea la instalațiile tehnologice automatizate și eventual telemecanizate a unor calculatoare electronice care efectuează procese „de gîndire" asemănătoare cu cele produse în creierul omenesc și impun anumite decizii în conducerea unui proces tehnologic complex (v. cap. 20).

Din figura 10.4 care reprezintă, așadar, fazele evolutive ale proceselor de producție, se constată evoluția poziției omului față de evoluția tehnică a proceselor de producție.

D. ELEMENTELE COMPONENTE ALE SISTEMELOR AUTOMATE

S-a arătat că un sistem automat a rezultat din aplicarea unui dispozitiv de automatizare la o instalație tehnologică. Întregul ansamblu este format dintr-o serie de părți constitutive, numite elementele sistemelor automate.

Elementele sistemelor automate sînt așadar două grupe de obiecte distincte din punct de vedere structural și funcțional, și anume:

— *elementele instalației tehnologice*, constituind părțile componente ale instalației ce realizează procesul tehnologic; din această categorie fac parte — de exemplu — diverse cazane, pompe, conducte, motoare, rezervoare, turbine, generatoare etc.;

— *elementele de automatizare*, care reprezintă părțile constitutive ale dispozitivelor de automatizare.

Elementele de automatizare se construiesc într-o gamă foarte largă și foarte variată. Ele pot avea o structură mai simplă sau mai complexă, corespunzător scopului de automatizare propus.

Pe baza unor trăsături comune, elementele de automatizare se pot clasifica în mai multe feluri:

— *după principiul constructiv și funcțional* se deosebesc: traductoare, adaptoare, amplificatoare, relee, stabilizatoare, distribuitoare, convertoare etc.

— *după felul energiei auxiliare folosite* elementele de automatizare se împart în elemente: electrice, pneumatice, hidraulice și elemente mixte (de exemplu electrohidraulice).

În acest manual vor fi studiate elemente cu o structură mai complexă, regulatoarele (v. cap. 14), care cuprind diverse elemente din cele arătate mai sus (de exemplu: adaptoare, amplificatoare, stabilizatoare etc.), folosesc mai multe feluri de energie (de exemplu: regulatoare electropneumatice) și au o comportare complexă în regim dinamic (de exemplu: regulatoare proporțional-integratoare etc.).

La începutul dezvoltării automatizărilor, elementele de automatizare au fost realizate într-o formă specializată („neunificată"), valorile parametrilor de intrare și de ieșire ale elementelor prevăzute într-o schemă fiind diferite de la caz la caz.

În prezent, pe măsura introducerii pe scară largă a automatizărilor, s-a procedat la unificarea elementelor de automatizare în sensul că „semnalele" de ieșire ale unor elemente similare sînt aceleași („unificate"). De exemplu: semnalul unificat de curent continuu este: 2—10 mA sau 4—20 mA, semnalul unificat de presiune este 0,2—1 kgf/cm² etc. (v. cap. 11).

Industria românească realizează un amplu sortiment de elemente de automatizare, care satisface marea majoritate a cerințelor întîlnite în

instalațiile industriale. În cadrul Întreprinderii de elemente pentru automatizare — IEA — se realizează și un *sistem electronic unificat* denumit sistemul E, purtătorul informațiilor fiind semnalul de curent continuu cu „zero viu" ($x_i = 0$; $x_e = 0,2$ mA).

În figura 10.5 se prezintă schema generală a sistemului electronic unificat „E", iar în figura 10.6 — schema generală a sistemului electronic neunificat.

SCHEMA GENERALĂ A SISTEMULUI ELECTRONIC UNIFICAT „E"

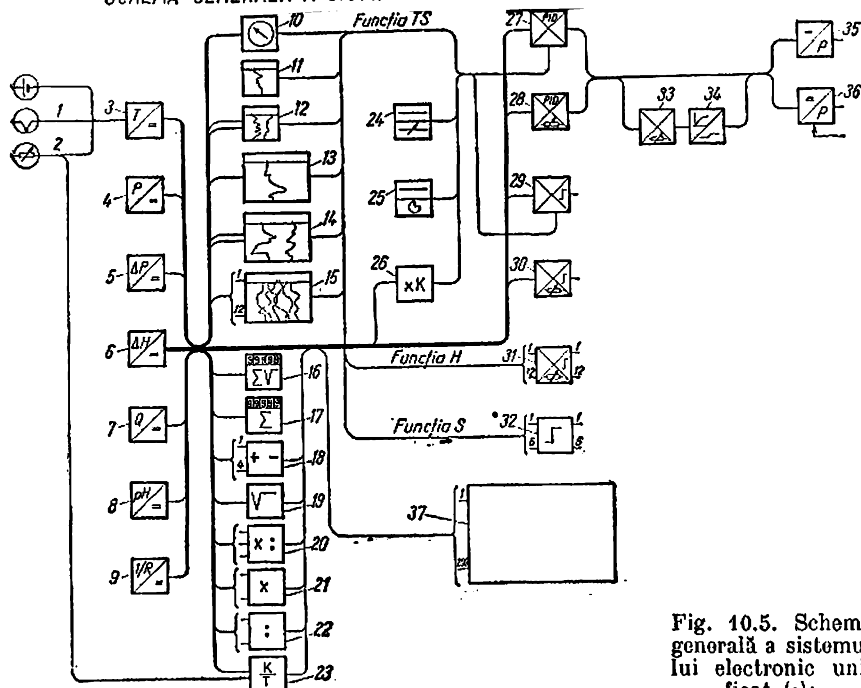


Fig. 10.5. Schema generală a sistemului electronic unificat (ε):

1. Termocupluri 2. Termorezistențe 3. Adaptoare ELT 160 ELT 161 4. Traductoare de presiune AT (10, 20, 40)/ELT 370 5. Traductoare de presiune diferențială ELT 271/ELT370 AT 30/ELT 370 6. Traductor de nivel AT 50/ELT 370 7. Traductoare de debit FL 281/ELT 530 DR 100/ELT 310 8. Traductoare de pHW (62, 63, 64)/ELT 630 9. Traductor de conductivitate W 44/ELT 730 10. Indicator electronic ELR 10 11. Înregistrator electronic ELR 35 12. Înregistrator electronic dublu ELR 45 13. Înregistrator electronic mare ELT 36 14. Înregistrator electronic mare, dublu ELR 46 15. Înregistrator electronic multipunct ELR 36(A) 16. Integrator de rădăcină pătrată ELI 103 17. Integrator liniar ELI 112 18. Element de adunare-scădere ELX 210 19. Extractor de rădăcină pătrată ELX 220 ELX 221 20. Element de înmulțire-împărțire ELX 230 21. Element de împărțire ELX 231 22. Element de înmulțire ELX 241 23. Element de compensare a temperaturii ELX 240 24. Element de referință ELX 115 25. Programator ciclic ELX73 26. Element de raport ELX 126 27. Regulator electronic PI/PID ELC 111 28. Regulator electronic PI/PID ELC 113 29. Regulator bipozițional ELX 75 30. Regulator tripozițional ELX 176 31. Regulator bipozițional multipunct X 74 32. Element de semnalizare multipunct X 71 33. Element de comandă manuală ELX 127 ELX 130 34. Element de limitare ELX 117 35. Convertor electropneumatic ELA 104 36. Poziționer electropneumatic ELA 114 37. Instalație de control centralizat MCC 200.

SCHEMA GENERALĂ A SISTEMULUI ELECTRONIC NEUNIFICAT

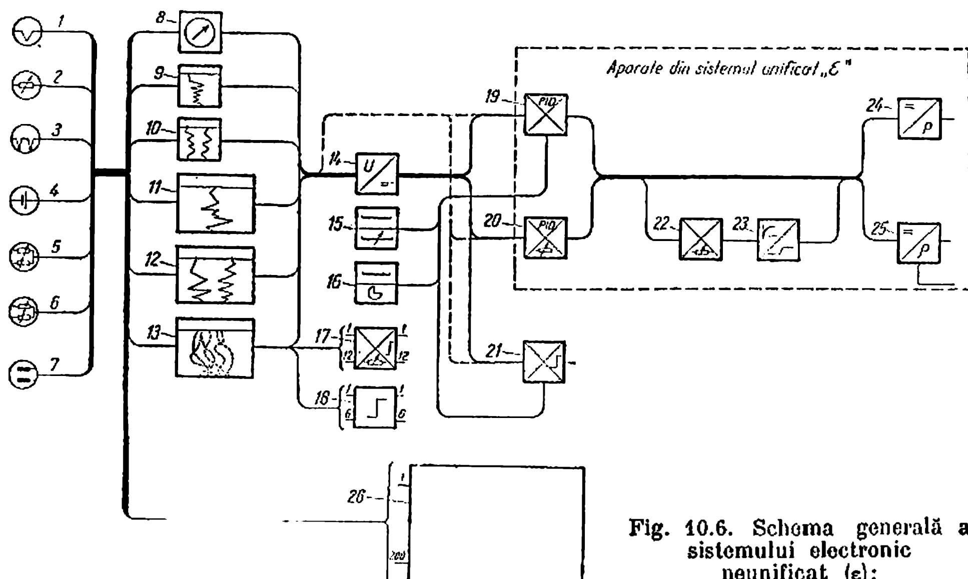


Fig. 10.6. Schema generală a sistemului electronic neunificat (ε):

1. Termocupluri 2. Termorezistențe 3. Pirometru de radiație K 42—K56 4. Surse de mV c.c. 5. Detector de raport molar U 121 6. Detectoare de umiditate U2 1, U22/U 23 7. Detector de concentrație W 16 8. Indicator electronic E 10 9. Înregistrator electronic E 35 10. Înregistrator electronic dublu E 45 11. Înregistrator electronic mare E 36 12. Înregistrator electronic mare, dublu E 46 13. Înregistrator electronic multipunct E 36(A) 14. Convertor de semnale ELX 120 15. Element de referință ELX 115 16. Programator ciclic ELX 73 17. Regulator bipozițional multipunct X 74 18. Element de semnalizare multipunct X 71 19. Regulator electronic PI/PID ELC 111 20. Regulator electronic PI/PID ELC 113 21. Regulator bipozițional X 75 22. Element de comandă manuală ELX 127 23. Element de limitare ELX 117 24. Convertor electropneumatic ELA 104 25. Poziționer electropneumatic ELA 114 26. Instalație de control centralizat MCC 200.

În afară de acestea, Întreprinderea de Elemente Pneumatice de Automatizare și Măsură — FEPAM — Bîrlad — are în curs de asimilare un sistem pneumatic unificat („sistemul P").

În capitolele următoare vor fi prezentate diverse elemente de automatizare, indicîndu-se totodată și tipurile de elemente de automatizare realizate și folosite în țara noastră.

REZUMAT

1. Prin automatizarea proceselor de producție se înțelege introducerea unor dispozitive speciale (dispozitive de automatizare) la instalațiile tehnologice (turbine electrice, sonde, linii de fabricație, pompe etc.) care să permită desfășurarea procesului de producție fără participarea omului („automat").

2. Între instalația tehnologică (proces) și dispozitivul de automatizare au loc legături de: măsurare, semnalizare, control, comandă, reglare etc.

3. Scopul automatizării este acela de a asigura desfășurarea în cele mai bune condiții a proceselor de producție pe baza unui plan („program") stabilit de către om.

4. Necesitatea și avantajele automatizării producției se concretizează în creșterea foarte mare a productivității muncii, deci a producției de bunuri materiale, în condițiile reducerii prețului de cost.

5. Mecanizarea, automatizarea, telemecanizarea și conducerea prin calculator reprezintă faze succesive din ce în ce mai avansate în dezvoltarea nivelului tehnic al instalațiilor tehnologice de producție.

6. Elementele sistemelor automate cuprind atît părțile componente ale instalației tehnologice, cît și părțile constitutive ale dispozitivelor de automatizare.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Automatizarea unui proces de producție reprezintă:
   a) înlocuirea omului în funcția de mecanizare a procesului?
   b) înlocuirea omului în funcția de conducere a procesului?
   c) măsurarea automată a parametrilor din proces?
2. Prin sistem automat se înțelege:
   a) o instalație tehnologică mecanizată căreia i s-a introdus un calculator electronic?
   b) un sistem energetic care funcționează singur?
   c) o instalație tehnologică căreia i s-a adăugat un dispozitiv de automatizare?
3. Un sistem de reglare automată cuprinde o dublă funcție, și anume:
   a) comandă + semnalizare?
   b) semnalizare + măsurare?
   c) măsurare + comandă?

CAPITOLUL 11

TRADUCTOARE

A. NOŢIUNI GENERALE

1. INTRODUCERE

În scopul măsurării mărimilor fizice ce intervin într-un proces tehnologic, este necesară de obicei convertirea („traducerea“) acestora în mărimi de altă natură fizică care pot fi introduse cu uşurinţă într-un circuit de automatizare (de exemplu, o temperatură poate să influenţeze un circuit de automatizare numai dacă este convertită — tradusă — într-o tensiune electrică proporţională sau dependentă de temperatura respectivă).

Elementul care permite convertirea („traducerea“) unei mărimi fizice — de obicei neelectrică — într-o altă mărime fizică — de obicei electrică — dependentă de prima, în scopul introducerii acesteia într-un circuit de automatizare se numeşte **traductor.**

În structura traductoarelor se întîlnesc, în general, o serie de subelemente constitutive, dintre care se vor analiza: convertoarele şi adaptoarele (v. par. B şi C).

După cum va reieşi din exemplele următoare, structura generală a traductoarelor este foarte diferită de la un tip de traductor la altul, cuprinzînd unul, două sau mai multe convertoare conectate în serie. În majoritatea cazurilor, *structura generală* a unui traductor este cea din figura 11.1.

Mărimea de intrare X_i (de exemplu, presiune, nivel, forţă etc.) este convertită de către elementul sensibil într-o mărime intermediară X_0 (deplasare liniară sau rotire), care este transformată în mărimea de ieşire X_e (tensiune electrică, rezistenţă, inductanţă, capacitate) aplicată circuitului de automatizare cu ajutorul unui adaptor.

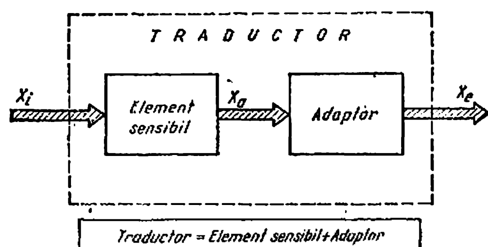


Fig. 11.1. Structura generală a unui traductor.

De obicei, adaptorul cuprinde şi sursa de energie S (fig. 11.1), care face posibilă convertirea mărimii X_0 în mărimea X_e.

2. CARACTERISTICILE GENERALE ALE TRADUCTOARELOR

La un traductor, mărimea de intrare X_i şi cea de ieşire X_e sînt de natură diferită, însă sînt legate între ele prin relaţia generală de dependenţă:

$$X_e = f(X_i), \qquad (11.1)$$

care poate fi o funcţie liniară sau neliniară, cu variaţii continue dau discontinue (discrete).

Pe baza acestei relaţii de dependenţă se stabilesc următoarele caracteristici generale valabile pentru orice traductor:

— *natura fizică a mărimilor de intrare şi de ieşire* (presiune, debit, temperatură, deplasare etc., respectiv rezistenţă electrică, curent, tensiune etc.);

— *puterea consumată la intrare şi cea transmisă elementului următor* (de sarcină). De obicei, puterea de intrare este relativ mică (cîţiva waţi, miliwaţi sau chiar mai puţin)*, astfel încît elementul următor în schema de automatizare este aproape întotdeauna un amplificator;

— *caracteristica statică a traductorului*, care este reprezentarea grafică a relaţiei (11.1) — (fig. 11.2);

— *sensibilitatea absolută* sau *panta* K_a, care este raportul

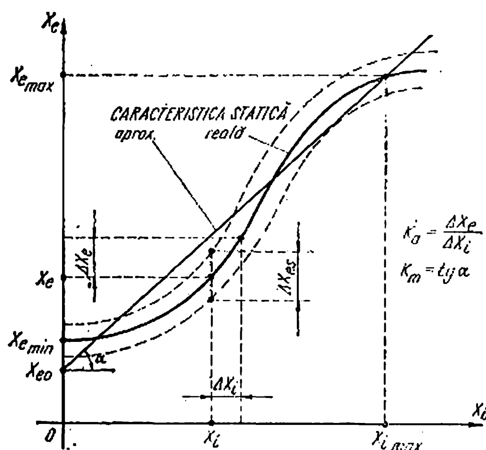


Fig. 11.2. Caracteristica statică a unui traductor.

* De exemplu, pentru acţionarea unui electrometru electronic, în cazul măsurării pH-ului este suficientă o putere de 10^{-24} W.

dintre variaţia mărimii de ieşire ΔX_e şi a mărimii de intrare ΔX_i (fig. 11.2):

$$K_a = \frac{\Delta X_e}{\Delta X_i}; \tag{11.2}$$

— *panta medie* (K_m), care se obţine echivalînd caracteristica statică cu o dreaptă avînd coeficientul unghiular:

$$K_m = \text{tg}\,\alpha \simeq K_a. \tag{11.3}$$

— *domeniul de măsurare*, definit de pragurile superioare de sensibilitate $X_{i\,min}$ şi $X_{e\,min}$ şi de cele inferioare $X_{i\,min}$ şi $X_{e\,min}$.

3. CLASIFICAREA TRADUCTOARELOR

Întrucît circuitele de automatizare sînt în general de natură electrică, mărimea de ieşire a traductoarelor este aproape exclusiv de natură electrică.

Clasificarea traductoarelor poate fi făcută în funcţie de natura mărimii de ieşire X_e sau în funcţie de natura mărimii de intrare X_i.

● **În funcţie de natura mărimii electrice de la ieşire** (X_e) se deosebesc:

— *traductoare parametrice*, la care mărimea măsurată este transformată într-un „parametru de circuit electric" (rezistenţă, inductanţă sau capacitate). Traductoarele parametrice se împart deci la rîndul lor în: traductoare *rezistive*, traductoare *inductive* şi traductoare *capacitive*;

— *traductoare generatoare*, la care mărimea măsurată este transformată într-o tensiune electromotoare a cărei valoare depinde de valoarea mărimii respective.

● **În funcţie de natura mărimii aplicate la intrare** (X_i) se disting:

— *traductoare de mărimi neelectrice* (temperatură, deplasare, debit, viteză, presiune etc.);

— *traductoare de mărimi electrice* (curent, frecvenţă, putere, fază etc.).

În practică, traductoarele sînt definite pe baza ambelor criterii arătate mai sus (de exemplu, traductor parametric rezistiv de temperatură). În figura 11.3 se prezintă o schemă generală de clasificare a traductoarelor uzuale.

● **În funcţie de domeniul de variaţie al mărimii de ieşire,** traductoarele se clasifică în:

— *traductoare unificate* — la care mărimea de ieşire reprezintă un semnal unificat electric (2—10 mA sau 4—20 mA), sau pneumatic (0,2 — 1 kgf/cm²);

— *traductoare neunificate.*

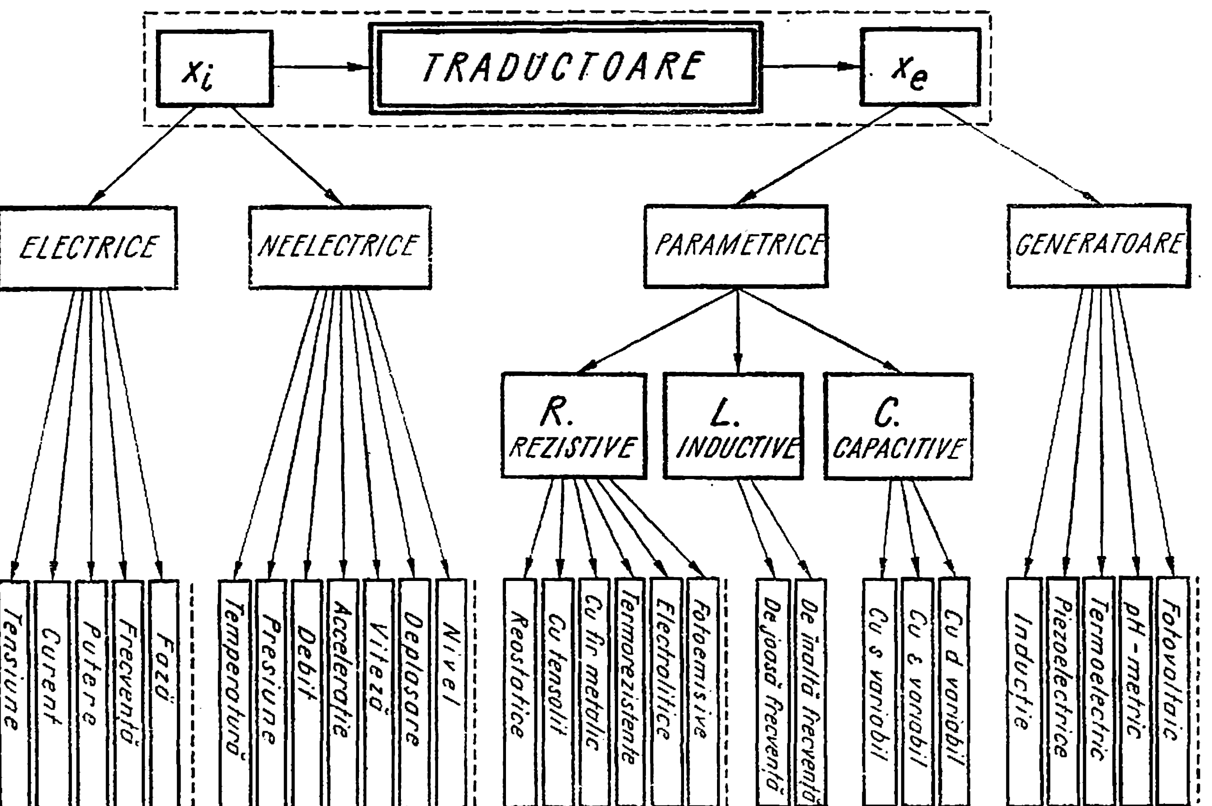


Fig. 11.3. Clasificarea traductoarelor.

B. CONVERTOARE

1. INTRODUCERE

Elementele de automatizare, ca de altfel şi multe alte elemente cunoscute în tehnică, cuprind în structura lor unul sau mai multe subelemente de „convertire", adică de transformare a unei mărimi în altă mărime dependentă de aceasta.

În automatică, noţiunea de convertor este atribuită unor subelemente realizate fie sub o formă independentă, fie incluse în structura unor elemente complexe (traductoare, regulatoare etc.) şi care au, de exemplu, rolul de a transforma un semnal unificat electric într-un semnal unificat pneumatic (convertor electropneumatic) sau o mărime analogică într-una numerică (convertor analog-numeric) etc.

2. CONVERTOR CURENT-PRESIUNE

Convertorul curent-presiune fabricat de IEA avînd indicativul de fabricaţie ELA 104 în cadrul sistemului E, permite transformarea semnalului unificat electric (2—10 mA c.c.) în semnal unificat pneumatic (0,2 × 1 kgf/cm²).

În structura acestuia intră două elemente care asigură:

— *convertire curent-deplasare (electromagnet polarizat)*;

— *convertire deplasare-presiune (sistem duză-paletă)*.

Pentru o înţelegere uşoară vor fi descrise separat cele două convertoare constitutive.

● **Electromagnetul polarizat** (fig. 11.4). Este format din două miezuri identice M_1 şi M_2 şi o lamă L care oscilează în jurul punctului O, toate confecţionate din material feromagnetic (oţel moale), precum şi din magneţii permanenţi de polarizare P_1 şi P_2 avînd polarităţile din figură. Lama L se găseşte în interiorul unei bobine fixe B ale cărei spire sînt parcurse de curentul unificat i (mărimea de intrare x_i). Resortul R fixat la partea inferioară a lamei L este netensionat în poziţia mediană a acesteia, cînd curentul de intrare este nul (fig. 11.4, *a*).

Deoarece sistemul se află într-o poziţie simetrică (întrefierurile $d_A = d_B = d_C = d_D$), iar fluxurile de polarizare Φ_p sînt egale, magneţii P_1 şi P_2 fiind identici, forţele electromagnetice (nefigurate) sînt egale şi sistemul rămîne în această poziţie mediană (fig. 11.4, *a*).

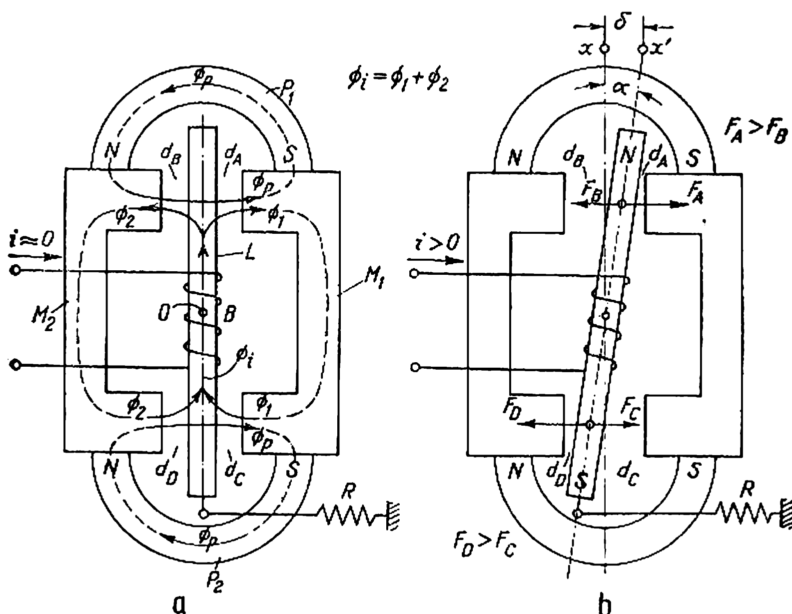


Fig. 11.4. Convertor curent-deplasare:
a — în poziție mediană ($i = 0$); *b* — în poziție de lucru ($i > 0$).

Dacă curentul i crește, avînd de exemplu o anumită polaritate, lama L devine un electromagnet avînd polaritatea indicată în figura 11.4, *b*.

Ca urmare, fluxul magnetic Φ_i produs de curentul i se va ramifica prin miezurile M_1 și M_2 sub forma unor fluxuri componente Φ_1 și Φ_2 care în întrefierurile d_A și d_D se vor însuma ($\Phi_p + \Phi_1$, respectiv $\Phi_p + \Phi_2$), iar în întrefierurile d_B și d_C se vor scădea ($\Phi_p - \Phi_2$, respectiv $\Phi_p - \Phi_1$) — figura 11.4, *a*.

În consecință, lama L se va roti în sensul orar sub influența forțelor $F_A - F_B$ ($F_A > F_B$) și $F_D - F_C$, care sînt funcție de fluxurile magnetice aferente. Exprimat într-un mod mai simplu, se poate spune că polii de nume contrare se atrag (N cu S), iar cei de aceleași nume se resping (N cu N și S cu S).

Momentul activ al forțelor este echilibrat de momentul rezistent creat de resortul antagonist R, astfel că lama L ocupă o poziție bine definită, concretizată sub forma unui unghi α sau, ceea ce este tot același lucru, sub forma unei deplasări al unui punct de pe lama L din x în x' (fig. 11.4, *b*), unghiul sau deplasarea fiind proporționale cu curentul i.

● **Sistemul duză-paletă** (fig. 11.5, *a*) cuprinde o paletă obturatoare *O*, o duză *D* şi un ajutaj *A*. Ajutajul este o strangulaţie (cu diametrul sub 0,5 mm) a secţiunii de trecere a aerului de la o sursă de aer comprimat de presiune constantă P_0, prin duza *D* în atmosferă sau prin conducta *C* spre utilizare (presiunea P_i).

În calea debitului de aer *Q* care vine de la sursă (P_0) spre atmosferă, ajutajul *A* se comportă ca o rezistenţă pneumatică fixă, producînd căderea de presiune ΔP, iar duza *D* — ca o rezistenţă pneumatică variabilă ce depinde de gradul de obturare al duzei, adică de distanţa δ între duză şi obturatorul *O*. Modelul electric al acestui sistem pneumatic este prezentat în figura 11.5, *b* şi el permite prin analogie o înţelegere mai uşoară a modului de funcţionare al sistemului duză-paletă.

Cînd $\delta = 0$, paleta obturează complet duza şi rezistenţa pneumatică de ieşire a aerului în atmosferă este infinită ($R_D = \infty$). Ca urmare, debitul de aer *Q* este nul ($I = 0$), căderea de presiune ΔP este nulă ($\Delta U = 0$) şi deci presiunea $P_i = P_0$ ($U_i = U_0$).

Cînd δ *creşte*, rezistenţa pneumatică a duzei scade (R_D scade), debitul de aer *Q* creşte (*I* creşte); căderea de presiune ΔP va creşte (ΔU creşte), deci presiunea remanentă P_i va scădea (U_i scade). **Rezultă deci că la scăderea deplasării** δ presiunea P_i va creşte.

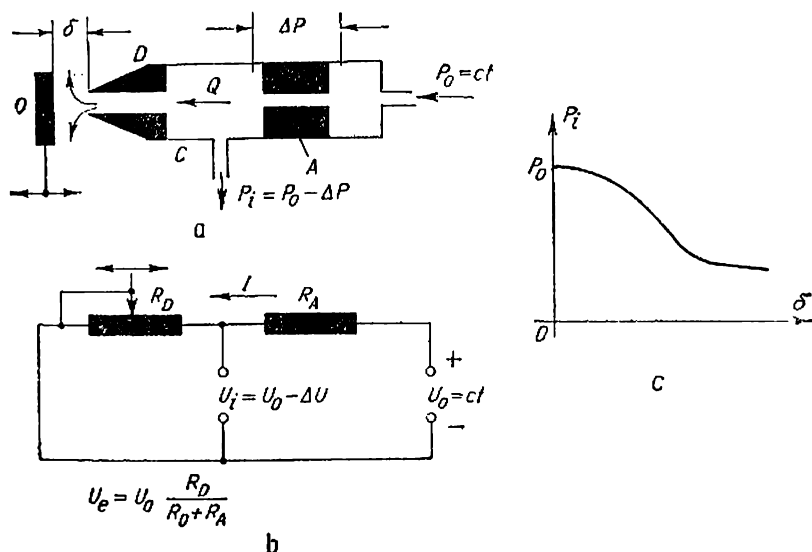


Fig. 11.5. Convertor deplasare presiune:
a — sistemul duză-paletă; *b* — modelul electric al convertorului; *c* — caracteristica de convertire.

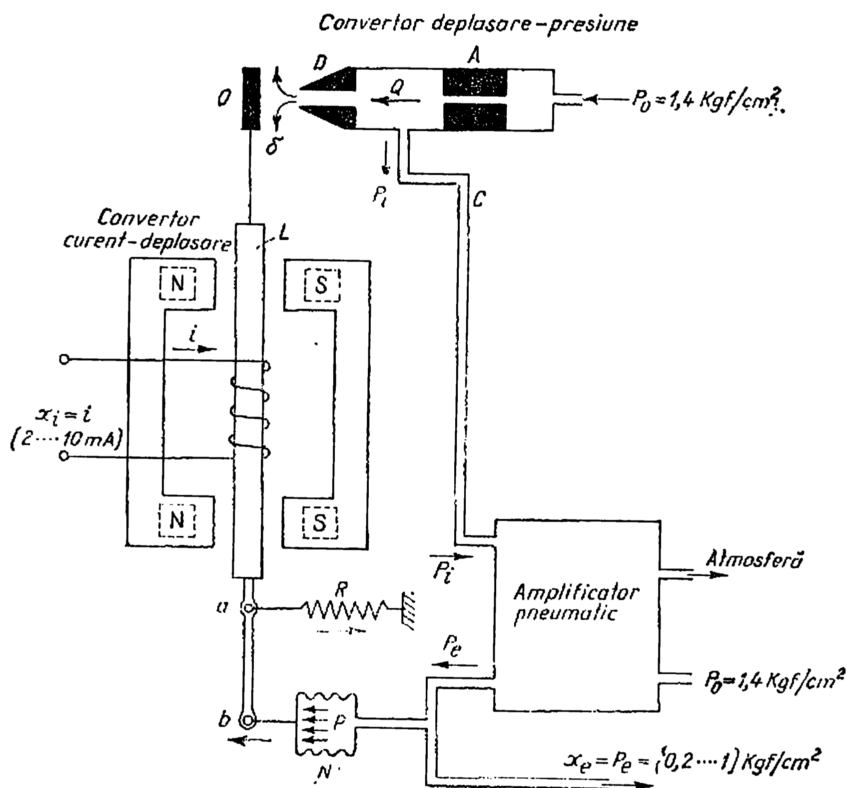


Fig. 11.6. Convertor curent-presiune tip ELA 104.

Caracteristica de convertire a deplasării δ în presiunea P_i este prezentată în figura 11.5, *c*.

• **Convertorul curent-presiune tip ELA 104** este alcătuit din elementele descrise mai sus. El este prezentat într-o formă principială în figura 11.6.

Lama mobilă *L* a convertorului curent-deplasare este solidară cu obturatorul *O* al convertorului deplasare-presiune.

Conform celor arătate mai sus, cînd curentul *i* (mărimea de intrare x_i) va crește, obturatorul se va apropia de duză și presiunea P_i va crește.

Presiunea P_i este aplicată unui amplificator pneumatic de putere *F* (v. fig. 12.6) care scoate o presiune P_e (mărimea de ieșire x_e) de valoare unificată (0,2—1 kgf/cm²).

Presiunea de ieşire P_e este aplicată şi convertorului presiune-deplasare N (realizat sub forma unui burduf din alamă cu pereţii ondulaţi), care asigură o „reacţie negativă“ (v. fig. 12.3) — o legătură inversă de la ieşire la intrare — necesară îmbunătăţirii funcţionării convertorului curent-presiune.

C. ADAPTOARE

1. INTRODUCERE

Pentru realizarea unei anumite funcţii de automatizare, elementele sistemelor automate se leagă între ele sub forma unor „lanţuri“ sau „bucle“, astfel că mărimea de ieşire dintr-un element trebuie să fie egală cu cea optimă de intrare în elementul următor ş.a.m.d. Dacă această condiţie nu este îndeplinită, trebuie prevăzute elemente speciale numite adaptoare, care să „adapteze“ elementele respective între ele.

Aşadar, **adaptoarele** constituie *o clasă specială de convertoare, care au rolul de a adapta între ele elemente aferente sistemelor automate.*

În cazul particular al sistemelor unificate (de exemplu, sistemul unificat E — IEA), adaptoarele au rolul de a converti o mărime de ieşire oarecare într-un semnal unificat.

2. ADAPTOR DEPLASARE-CURENT

Acest tip de adaptor este frecvent folosit în sistemul E (IEA) avînd indicativul de fabricaţie ELT 370 şi fiind utilizat în construcţia unor traductoare de presiune, de nivel, de debit etc.

Schema de principiu a adaptorului deplasare-curent este prezentată în figura 11.7.

Adaptorul deplasare-curent foloseşte principiul convertirii unei deplasări mecanice (rotire) într-un semnal alternativ a cărui amplitudine este proporţională cu unghiul de rotire α (fig. 11.7). În acest scop se foloseşte un modulator magnetic M avînd un element mobil de polarizare realizat sub forma unui magnet permanent $N—S$.

În poziţia iniţială — verticală — intrarea este nulă ($\alpha = 0$), miezul M este perfect simetric şi deci curentul i_p este zero, caz în care la ieşire se obţine $i_e = 2$ mA („zero viu“).

Cînd unghiul de intrare α creşte, va creşte proporţional şi curentul i_p care este aplicat prin transformatorul de adaptare T_3 unui amplificator tip H21 format dintr-un amplificator de c.a. şi un demodulator la ieşirea

Fig. 11.7 Adaptor deplasare-curent tip ELT 370.

căruia se obține semnalul unificat $i_e = 2 \ldots 10$ mA c.c. corespunzător domeniului maxim de variație a unghiului (care în cazul adaptorului respectiv, ELT 370, este de 16°).

Un oscilator, de asemenea tipizat (IEA tip H 31), produce tensiunea cu frecvența de 500 Hz care, prin transformatorul de izolare T_1 alimentează modulatorul magnetic, precum și tensiunea de 1 000 Hz, care prin transformatorul T_2 asigură procesul de demodulare (redresare) din amplificatorul H 21 (v. cap. 12 — fig. 12.5).

Curentul de ieșire i_e este adus printr-un circuit „de reacție" (v. cap. 12, fig. 12.3) înapoi la ieșirea modulatorului, în punctele *c* și *d* (fig. 11.7 indicat punctat), fapt care asigură o funcționare stabilă a adaptorului în ansamblul său.

Impedanța de ieșire a adaptorului tip ELT 370 este de 3 kΩ.

Adaptorul IEA tip ELT 310 folosit pentru deplasare liniară-curent este practic adaptorul ELT 370, la care s-a mai adăugat la intrare un convertor mecanic ce transformă mișcarea liniară în mișcare circulară.

3. ADAPTOR TENSIUNE (REZISTENȚĂ)-CURENT

Aceste tipuri de adaptoare (fig. 11.8) fabricate de IEA sînt realizate în două variante constructive:

— *adaptoare tensiune-curent tip ELT 160* — folosite în construcția traductoarelor generatoare (v. par. D5, D6 și D7);

— *adaptoare rezistență-curent tip ELT 161* — folosite în construcția traductoarelor parametrice rezistive (v. par. D1).

În ambele cazuri, adaptorul comportă un bloc de gamă (fig. 11.9) care are rolul de a converti o mărime electrică — tensiune electrică U_G (fig. 11.9, *a*) sau rezistență electrică R_R (fig. 11.9, *b*) într-un curent continuu de valoare unificată $i = \pm 10$ μA.

În ambele cazuri, funcționarea are loc pe baza punții Wheatstone dezechilibrată, formată din rezistențele R_1, R_2, R_3 și R_4.

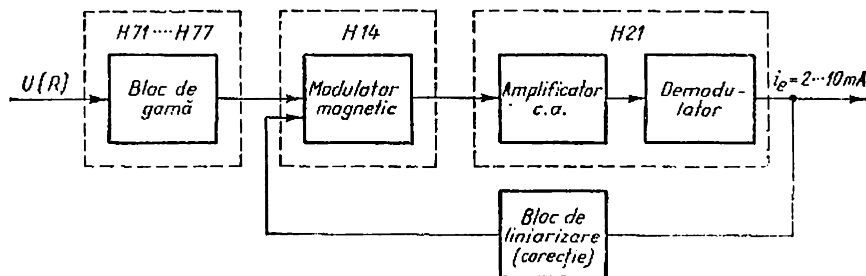


Fig. 11.8. Adaptor tensiune (rezistență)-curent tip ELT 160 (161).

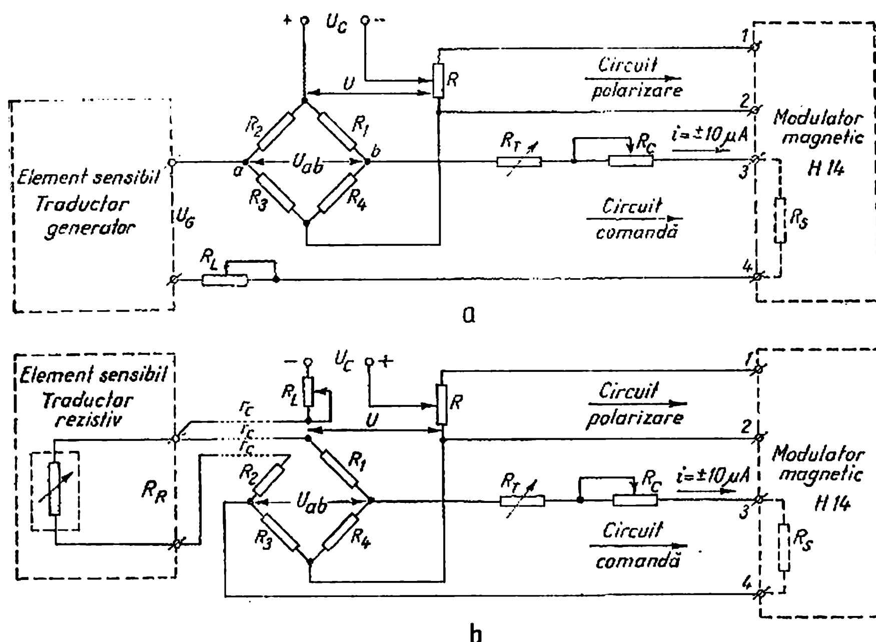


Fig. 11.9. Bloc de gamă:
a — pentru convertirea tensiunii; *b* — pentru convertirea rezistenței.

● **Adaptoare tensiune-curent.** Blocul de gamă (fig. 11.9, *a*) este alimentat cu tensiunea U_E de la elementul sensibil al unui „traductor generator" (v. cap. 11. par. D), care a produs convertirea mărimii măsurate într-o tensiune variabilă. Tensiunea U_{ab} de dezechilibru a punții depinde de tensiunea U, respectiv de tensiunea stabilizată U_c (stabilizator IEA tip H 55), precum și de valorile rezistențelor R_1, R_2, R_3 și R_4 după relația:

$$U_{ab} = U \frac{R_1R_3 - R_2R_4}{R_2(R_1 + R_4) + R_3(R_1 + R_4)}. \tag{11.4}$$

Ținînd seamă de faptul că tensiunea U_{ab} obținută de la punte și tensiunea U_G, de la elementul sensibil al traductorului, sînt conectate în serie, rezultă expresia curentului de ieșire:

$$i = \frac{U_G + Uab}{R_T + R_S + R_C + R_L}, \tag{11.5}$$

în care:

R_T este rezistența unui „termistor" (v. cap. 11, par. D.1) care compensează erorile de măsurare datorate variațiilor de temperatură ale mediului ambiant;

R_S — rezistența de sarcină (rezistența de intrare a modulatorului magnetic);

R_C — rezistența de compensare* a sarcinii (ieșire);

R_L — rezistența de compensare* a liniei (intrare).

Prin alegerea convenabilă a valorilor rezistențelor R_1, R_2, R_3 și R_4, se poate obține la ieșire același semnal standard $i = \pm 10$ μA pentru diverse valori ale tensiunii U_G obținute de la elementul sensibil al traductorului.

● **Adaptoare rezistență-curent** (fig. 11.9, *b*). Ieșirea elementului sensibil (rezistența R_R) este conectată într-un braț al punții format din rezistența R_2, rezistența cablului de legătură r_c și rezistența R_R. În acest caz, tensiunea de dezechilibru U_{ab} este dată de expresia:

$$U_{ab} = \frac{(R_1 + r_c)R_3 - (R_2 + r_c + R_R)R_4}{(R_2 + r_c + R_R)(R_1 + r_c + R_4) + R_3(R_1 + r_c + R_4)} U. \quad (11.6)$$

Rezultă implicit că valoarea curentului de ieșire:

$$i = \frac{U_{ab}}{R_T + R_C + R_S}, \quad (11.7)$$

(R_T, R_C și R_S avînd semnificațiile de mai sus) va depinde de valoarea R_R a rezistenței traductorului.

Ca și în cazul precedent, prin alegerea convenabilă a rezistențelor punții se poate obține la ieșirea blocului de gamă același semnal standard $i = \pm 10$ μA, pentru diverse valori ale rezistenței R_R.

Convertorul tensiune (rezistență)-curent cuprinde un sistem de amplificare a curentului continuu de la $i = \pm 10$ μA la semnalul unificat $i_e = 2 \ldots 10$ mA.

Structura sistemului de amplificare electronic va fi prezentată în cadrul capitolului 12.

---

* De exemplu, dacă rezistența calculată pentru elementul respectiv este de 20 Ω, iar în realitate, pentru un anumit caz rezistența este de 14 Ω, rezistența de „completare" pînă la 20 Ω (6 Ω) reprezintă rezistența de compensare.

1. TRADUCTOARE REZISTIVE

Traductoarele rezistive sînt acelea care funcţioneată pe baza variaţiei rezistenţei unui rezistor, mărimea de ieşire fiind deci o rezistenţă electrică.

Mărimea de intrare produce modificarea unuia (sau a mai multora) dintre parametrii care intervin în relaţia:

$$R = \rho \frac{l}{s} [\Omega], \tag{11.8}$$

care dă valoarea rezistenţei şi în care:

ρ este rezistivitatea $[\Omega \cdot mm^2/m]$;

l — lungimea [m];

s — secţiunea [mm^2].

Din relaţia de mai sus se observă că rezistenţa R creşte proporţional cu creşterea rezistivităţii ρ şi a lungimii l şi cu scăderea secţiunii s.

● **Traductoarele reostatice** sînt cele mai răspîndite traductoare rezistive, fiind realizate sub forma unor reostate speciale al căror cursor este deplasat de mărimea de măsurat. Variaţia rezistenţei se realizează deci prin varierea lungimii l a rezistorului (reostatului). Traductoarele reostatice se utilizează pentru măsurarea deplasării liniare d sau a altor mărimi care, la rîndul lor, sînt transformate în deplasare.

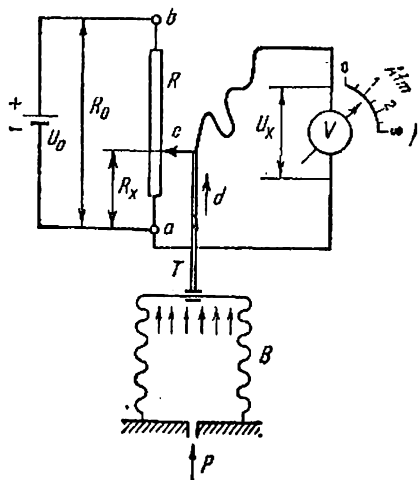


Fig. 11.10. Traductor reostatic de presiune.

Un traductor reostatic este prezentat schematic întocmai ca un reostat.

În figura 11.10 se prezintă ca exemplu un *traductor reostatic de presiune.*

Presiunea de măsurat P este aplicată unui burduf metalic special B (capsulă manometrică), care reprezintă de fapt elementul sensibil al traductorului şi care se deplasează în sus, pe măsură ce presiunea creşte, deplasînd prin tija T cursorul reostatului R. Aşadar, rezistenţa R_x obţi-

nută între bornele c și a va crește odată cu creșterea presiunii. Pentru a pune în evidență variația rezistenței R, deci a presiunii P, se realizează un circuit electric ca cel din figură, și anume: rezistenței totale R_0 i se aplică o tensiune constantă U_0, iar voltmetrul V este legat „potențiometric" între bornele c și a (pe rezistența R_x). În consecință, voltmetrul V va indica tensiunea U_x, proporțională cu rezistența R_x, deci cu deplasarea d, care la rîndul său depinde de presiunea P. Scara voltmetrului este gradată direct în unități de măsură ale presiunii (atm).

● **Traductoarele termorezistive** sau, cum se mai numește, *termorezistențe,* sînt rezistoare sensibile la temperatură, confecționate din materiale conductoare sau semiconductoare a căror rezistivitate variază cu temperatura.

Termorezistențele conductoare (metalice) sînt confecționate din metale pure, cum sînt: fierul, cuprul, nichelul sau platina, avînd coeficientul de temperatură cuprins între $3{,}7 \cdot 10^{-3}$ și $6{,}5 \cdot 10^{-3}$ 1/°C. Aceasta înseamnă că la o creștere a temperaturii de 100°C rezistența materialului crește cu 37—65%.

Variația rezistenței metalelor în funcție de temperatură este liniară pentru temperaturi de 100—200°C, fiind exprimată prin relația:

$$R_t = R_0(1 + \alpha\Delta\theta), \tag{11.9}$$

în care:

R_t este valoarea finală a rezistenței [Ω];
R_0 — valoarea inițială a rezistenței [Ω];
$\Delta\theta$ — variația de temperatură [°C];
α — sensibilitatea relativă [1/°C].

Termorezistențele semiconductoare, numite și *termistoare,* sînt confecționate prin presare din oxizii, carburile sau sulfurile unor metale, ca: nichel, cupru, plumb, magneziu etc. Rezistivitatea acestor materiale este incomparabil mai mare decît cea a metalelor (de 10^{10} ... ... 10^{12} ori mai mare) însă, spre deosebire de metale, rezistența termistoarelor scade cu creșterea temperaturii.

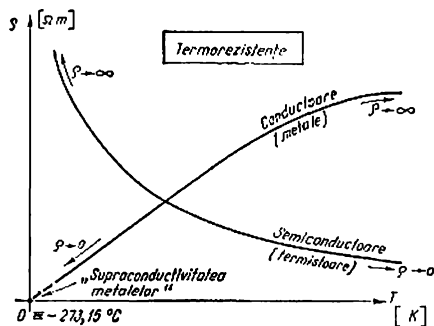


Fig. 11.11. Variația rezistivității la termorezistențe.

În figura 11.11 este prezentată variația rezistivității unei termorezistențe conductoare și a unor semiconductoare în funcție de temperatură. În cazul termorezistențelor semiconductoare, va-

riaţia este incomparabil mai mare decît în cazul termorezistenţelor conductoare, mai ales în domeniul temperaturilor negative pe scara Celsius. De exemplu, pentru o încălzire de la 0°C la 100°C, o termorezistenţă dată, confecţionată din cupru (conductor), îşi variază rezistenţa de la 100 Ω la 140 Ω, în timp ce alta din oxid cupros (cuproxid) — care este semiconductor — scade de la 100 Ω la 5 Ω.

Aceste proprietăţi ale termorezistenţelor (metalice sau semiconductoare) face posibilă folosirea lor ca elemente sensibile în realizarea traductoarelor.

Termorezistenţele folosite la termometre. Termorezistenţele termometrelor se construiesc fie din conductoare (metalice), fie din semiconductoare (termistoare). În ambele cazuri curentul de măsurare (I_0) se alege suficient de mic astfel ca să nu producă încălzirea acestora prin efect Joule-Lenz.

Termometrele cu termistoare au valori nominale cuprinse între 1 000 Ω şi 200 000 Ω şi sînt utilizate în special în domeniul temperaturilor negative pe scara Celsius, datorită sensibilităţii mari a acestora (v. fig. 11.11).

Termorezistenţele de cupru fabricate la IEA se folosesc pentru măsurarea temperaturilor în domeniul 0—120°C şi prezintă în acest domeniu o variaţie liniară cu temperatura.

Termorezistenţele de platină fabricate la IEA sînt utilizate pentru măsurarea temperaturilor cuprinse între —200°C şi +500°C.

Toate termorezistenţele fabricate la IEA sînt utilizate ca traductoare de temperatură unificate (fig. 11.12), prin cuplarea lor cu adaptoare formate din blocuri de gamă (v. fig. 11.9) tip H 72 (o termorezistenţă) sau tip H 77 (două termorezistenţe) şi cu amplificator cu modulator

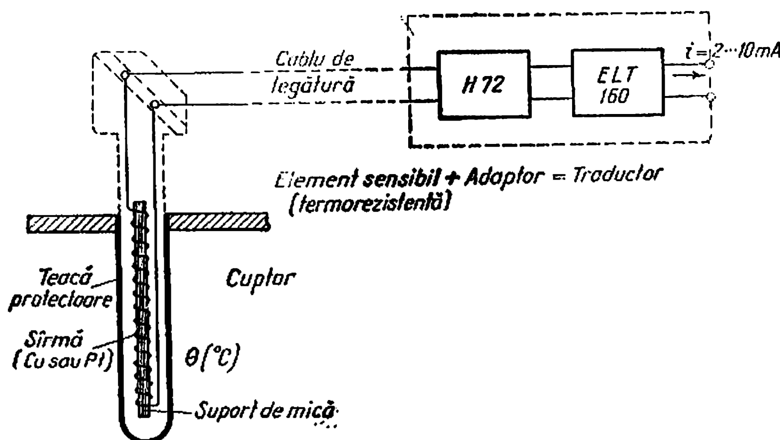


Fig. 11.12. Traductor termorezistiv de temperatură.

tip ELT 160 (v. fig. 11.8). Se obţine astfel la ieşire un semnal unificat $i = 2 \dots 10$ mA c.c. corespunzător domeniului de variaţie a temperaturii.

● **Traductoarele electrolitice** sînt de asemenea traductoare rezistive şi permit măsurarea concentraţiei electroliticilor pe baza măsurării conductivităţii (rezistivităţii) electrice a acestora.

Traductorul electrolitic de concentraţie (traductor electroconductometric) fabricat de IEA, tip W 16.ELT.730, este destinat măsurării concentraţiei soluţiilor de acid sulfuric, de sodă caustică etc. Elementul sensibil W 16 este format dintr-o „celulă" de măsurare (fig. 11.13) avînd forma unui corp de ventil cu flanşe pentru a fi racordat în circuitul unei conducte.

În interiorul celulei se află doi electrozi de platină, care determină împreună cu lichidul de analizat ce circulă prin conductă rezistenţa necunoscută R_x. Rezistenţa R_x înseriată cu rezistenţa „de balast" r este alimentată în diagonala AB a unei punţi Wheatstone dezechilibrate formată din rezistenţele R_1, R_2, R_3 şi R_c. Rezistenţa R_c este de fapt o termorezistenţă şi este plasată chiar în soluţie.

Puntea este alimentată în diagonala CD cu o tensiune constantă $U_0 = 1$V la o frecvenţă de 4 kHz (oscilator). Tensiunea U_x care apare la bornele rezistenţei R_x este dată de expresia:

$$U_x = \frac{U_{AB}}{r + R_x} \cdot R_x. \qquad (11.10)$$

Tensiunea U_x proporţională cu rezistenţa măsurată R_x este amplificată, fiind transformată în semnal unificat $i = 2 \dots 10$ mA c.c. cu ajutorul adaptorului tip ELT 730 (care conţine şi oscilatorul).

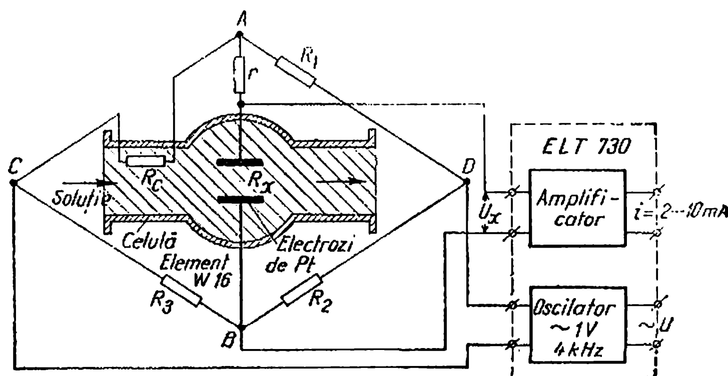


Fig. 11.13. Traductor electroconductometric.

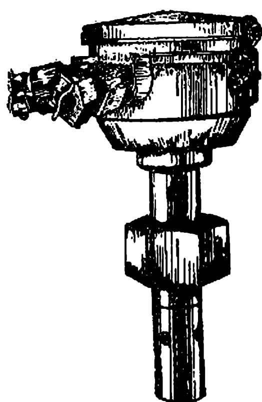


Fig. 11.14. Element sensibil electroconductometric tip W44.

În cazul în care concentrația soluției rămîne neschimbată însă i se modifică temperatura θ, conductivitatea σ_x se modifică în sensul că va crește cu temperatura la o valoare σ_x'.

Ca urmare (în cazul creșterii temperaturii) R_x scade la o valoare R_x'', ceea ce ar avea ca efect o scădere a tensiunii U_x, deci o eroare de măsurare. În acest caz intervine termorezistența „de compensare" R_c care, crescînd cu temperatura ($R_c' > R_c$), produce creșterea tensiunii U_{AB}($U_{AB}' > U_{AB}$), adică tensiunea U_x rămîne neschimbată dacă concentrația nu s-a modificat.

La IEA se mai fabrică și o altă variantă de element sensibil („detector electroconductometric"), numit W44, realizat sub forma unei „sonde" (se poate introduce printr-un orificiu într-o conductă), prevăzută cu găuri, în interiorul căreia se află atît electrozii pentru constituirea rezistenței R_x, cît și rezistența de compensare R_c (fig. **11.14**).

2. TRADUCTOARE INDUCTIVE

Principial, un traductor inductiv este acela la care mărimea de măsurat este transformată într-o inductanță variabilă proporțională cu mărimea respectivă.

În categoria traductoarelor inductive se încadrează în special acele traductoare care folosesc adaptorul deplasare-curent IEA tip ELT 370 (v. fig. 11.7).

Se dau mai jos cîteva exemple de traductoare inductive tip IEA sau, mai bine spus, modul principial de realizare a unor elemente sensibile care sînt folosite în combinație cu adaptorul deplasare-curent tip ELT 370

● **Traductor de presiune cu tub Bourdon.** Elementul sensibil al traductorului de presiune este un tub Bourdon *T* (fig. 11.15, *a*), care sub acțiunea presiunii de măsurat *P* tinde să se îndrepte (poziția punctată).

Cu creșterea presiunii *P* aplicate, punctul *a* din capătul liber al tubului se îndepărtează (de exemplu în *a'*), astfel că, prin intermediul bielei *B*, manivela *M* este rotită în jurul punctului *c* cu unghiul *α*.

Rotirea este aplicată modulatorului magnetic din adaptorul ELT 370 (v. fig. 11.7), care produce la ieșire semnalul unificat $i = 2 \ldots 10$ mA c.c. proporțional cu presiunea *P*.

● **Traductor de presiune cu membrană de separație.** În cazul în care fluidul de măsurat conține impurități care s-ar depune înfundînd tubul Bourdon, se folosește un traductor cu membrană de separație tip MS 100. Acest element suplimentar este format dintr-o capsulă manometrică *C* (fig. 11.15, *b*) prevăzută cu membrana elastică *S*. Presiunea de măsurat *P* se aplică în acest caz la orificiul O_3 și, acționînd asupra membranei elastice, comprimă lichidul de separare din cealaltă parte, care de obicei este ulei. Orificiul O_2 al capsulei fiind racordat printr-un tub la orificiul O_1 al tubului Bourdon (fig. 11.15, *a*), presiunea respectivă este transmisă indirect elementului sensibil descris în paragraful precedent, funcționarea avînd loc așa cum s-a arătat. Traductorul cu membrană de separație tip IEA poartă indicativul AT 10 ELT 370 MS 100.

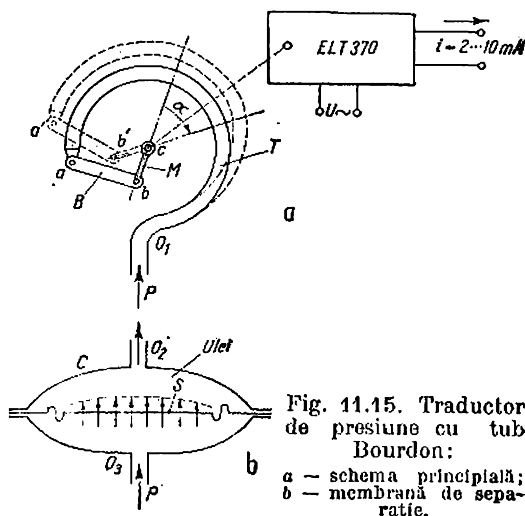


Fig. 11.15. Traductor de presiune cu tub Bourdon:
a — schema principală; *b* — membrană de separație.

● **Traductor de presiune cu capsulă.** Acest traductor, numit AT 20 ELT 370, cuprinde un element sensibil realizat sub forma unei capsule *C* (fig. 11.16) cu pereți din tablă subțire ondulată. Partea posterioară fiind rigidizată prin discul metalic *D*, fluidul introdus la presiunea *P* deformează peretele anterior al capsulei acționînd asupra brațului *B*. Brațul respectiv, asupra căruia acționează și resortul antagonist *R*, transformă deplasarea liniară a capsulei într-o rotire α a axului *A*. Solidar cu acest ax, al cărui unghi α ($\alpha = 0 \ldots$ $\ldots 16°$) este proporțional cu presiunea *P*, se află rotorul modulatorului magnetic din adaptorul ELT 370, care produce în final un semnal unificat $i = 2 \ldots 10$ mA c.c.

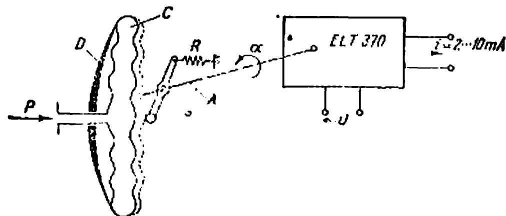


Fig. 11.16. Traductor de presiune cu capsulă.

Traductorul este folosit pentru măsurarea presiunilor mici (0—1 kgf/cm²).

● **Traductor de presiune diferențială cu burdufuri.** Elementul sensibil al traductorului este format dintr-o capsulă închisă *M* (fig. 11.17, *a*) în care, prin peretele de separare *D*, se creează două compartimente C_1 și C_2, alimentate cu presiunea P_1, respectiv P_2. Cele două presiuni, a căror diferență ($\Delta P = P_1 - P_2$) trebuie măsurată, acționează asupra unor burdufuri B_1 și B_2, rigidizate între ele prin tija *T* și care sprijinindu-se fiecare pe peretele despărțitor acționează ca niște resoarte spirale la deplasarea lor (B_1 se comprimă, iar B_2 se întinde). Cele două burdufuri fiind identice, forța rezultantă ΔF creată de cele două presiuni va fi proporțională cu diferența presiunilor respective.

În acest fel deplasarea longitudinală *d* a tijei va fi proporțională cu forța ΔF, deci cu presiunea diferențială ΔP.

Tija *T*, prevăzută cu opritorul reglabil *O*, acționează asupra manivelei rotind axul *A* cu unghiul α. În acest mod se transformă deplasarea *d* (proporțională cu ΔP) într-un unghi α și, deoarece axul *A* este solidar cu modulatorul magnetic din adaptorul ELT 370, se obține un semnal unificat $i = 2 \ldots 10$ mA c.c. proporțional cu diferența presiunilor. În figura 11.17, *b* este prezentat aspectul exterior al acestui traductor, denumit AT 30 ELT 370.

● **Traductor de nivel cu plutitor.** La traductorul de nivel cu plutitor tip AT 50 ELT 370 elementul sensibil tip AT 50 este format dintr-un

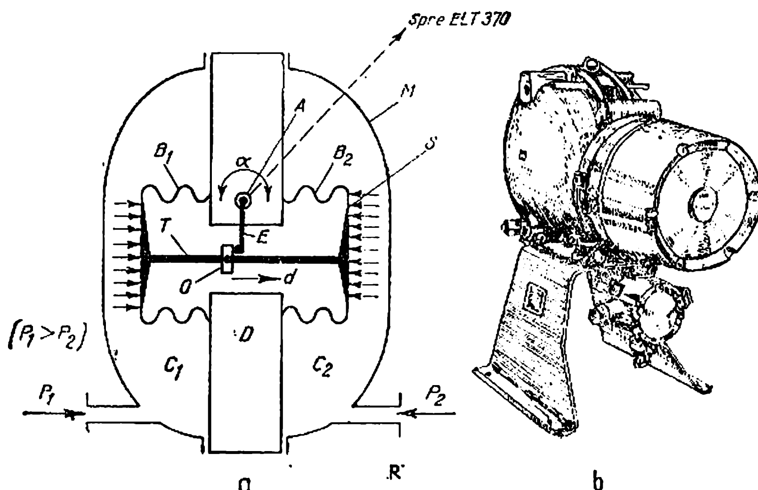


Fig. 11.17. Traductor de presiune diferențială cu burdufuri:
a — schema funcțională; *b* — aspectul exterior.

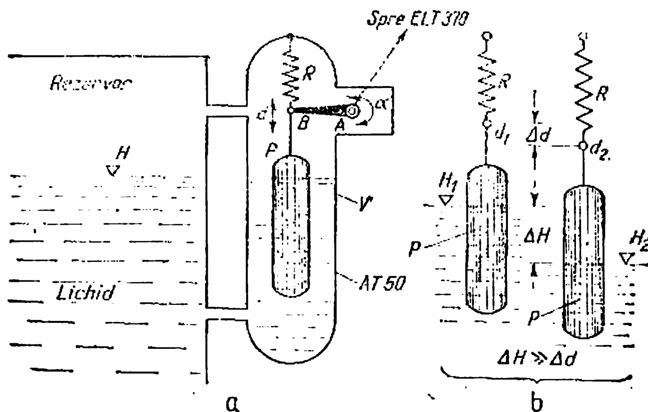


Fig. 11.18. Traductor de nivel cu plutitor:
a — schema elementului sensibil; *b* — poziția imersorului în funcție de nivel.

vas cilindric *V* (fig. 11.18, *a*), racordat la rezervorul cu lichid al cărui nivel *H* trebuie măsurat. În interiorul vasului se află plutitorul *P* (imersor) suspendat de un resort *R* și articulat cu brațul *B* (manivelă) solidar cu axul de rotire *A*. Variațiile nivelului *H* produc deplasarea *d* a plutitorului, deci rotirea cu unghiul α a axului *A*. Mișcarea de rotație α este transmisă adaptorului ELT 370 și se obține un semnal unificat $i = 2 ...$ ... 10 mA c.c. proporțional cu nivelul *H*.

3. TRADUCTOARE CAPACITIVE

Funcționarea traductoarelor parametrice capacitive se bazează pe variația capacității unor condensatoare speciale, de diverse forme, sub influența unei mărimi de măsurat.

Indiferent de tipul de element sensibil folosit, capacitatea variabilă C_x obținută se introduce într-un circuit de măsurare, ca de exemplu într-o punte de capacități, sau, în cazul general, se leagă la un convertor (adaptor) capacitate-curent (tensiune).

În cazul cel mai simplu, capacitatea se leagă în serie cu un ampermetru *A* (fig. 11.19)

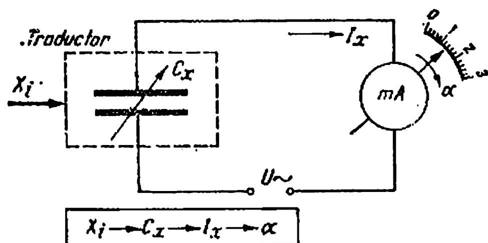


Fig. 11.19. Schema de măsurare cu traductor capacitiv.

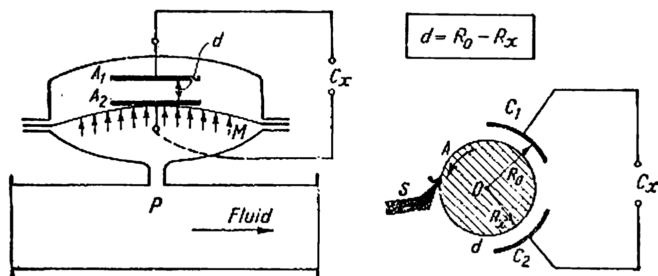


Fig. 11.20. Traductor capacitiv:
a — pentru măsurarea debitului; *b* — pentru măsurarea diametrului.

alimentat de o tensiune alternativă U_x. Neglijînd rezistența circuitului, valoarea curentului I_x din circuit va fi:

$$I_x = C_x \cdot \omega \cdot U, \qquad (11.11)$$

unde ω este pulsația tensiunii alternative.

În cele ce urmează vor fi definite ca traductoare capacitive numai elementele sensibile ale traductoarelor respective (de exemplu deplasare-capacitate), convertirea capacitate-curent fiind o problemă simplă de electrotehnică.

Evidențierea capacității variabile va fi indicată prin notația C_x la bornele la care se obține capacitatea respectivă.

În figura 11.20 sînt prezentate două tipuri de elemente sensibile, folosite în construcția traductoarelor capacitive. Astfel, *traductorul pentru măsurarea presiunii P* (fig. 11.20, *a*) *a unui fluid* din conducta *C* cuprinde armătura fixă A_1 și armătura mobilă A_2 solidară cu membrana elastică *M*. Cînd presiunea *P* crește, distanța *d* între armături scade, deci capacitatea C_x crește, dependentă de presiunea respectivă.

În figura 11.20, *b* s-a prezentat elementul sensibil al unui *traductor capacitiv pentru măsurarea diametrelor axelor care se prelucrează prin strunjire.* Acesta cuprinde două armături curbe C_1 și C_2 avînd raza de curbură R_0 și centrul de curbură în centrul *O* al axului *A*, care se rotește fiind strunjit de cuțitul *S*.

Notînd cu R_x raza axului, rezultă că distanța $d(d = R_0 - R_x)$ crește odată cu scăderea diametrului $2R_x$ al axului de prelucrat. Valoarea capacității C_x este determinată de cele două capacități formate din armăturile C_1 și C_2 înseriate prin axul *A*. Deoarece cu ajutorul acestui tip de traductor se poate măsura („controla") diametrul piesei chiar în timpul prelucrării, acest sistem mai poartă numele și de „control activ" al diametrului axului *A*.

Traductoarele respective, numite şi *traductoare pirometrice*, sînt folosite pentru măsurarea temperaturilor mari (600—2 000°C) ale unor corpuri, fără contact direct între elementul sensibil şi corp.

Elementul sensibil al traductorului pirometric de radiaţie totală tip K 42 sau K 56 fabricat la IEA funcţionează pe baza dependenţei dintre temperatura absolută a unui corp încălzit şi energia totală radiată pe toate lungimile de undă.

Elementul sensibil este constituit dintr-o cutie *A* (fig. 11.21, *a*) fixată de exemplu în peretele *B* al unui cuptor de topit metal, care cuprinde nişte plăcuţe *P* din platină înnegrită (reprezentînd corpul „negru absolut" — care absoarbe toate radiaţiile incidente).

Pe aceste plăcuţe sînt fixate „termocupluri" *E* de tipul cromel-constantan, care dau la ieşire o tensiune *U* proporţională cu temperatura la care sînt încălzite.

Un sistem de lentile *L* concentrează pe plăcuţele *P* radiaţia calorică *R* emisă de corpul *C* (metalul topit), care este încălzit la temperatura *T*.

Aşadar, tensiunea *U* obţinută la ieşirea elementului sensibil (pirometru) este dependentă de temperatura *T*.

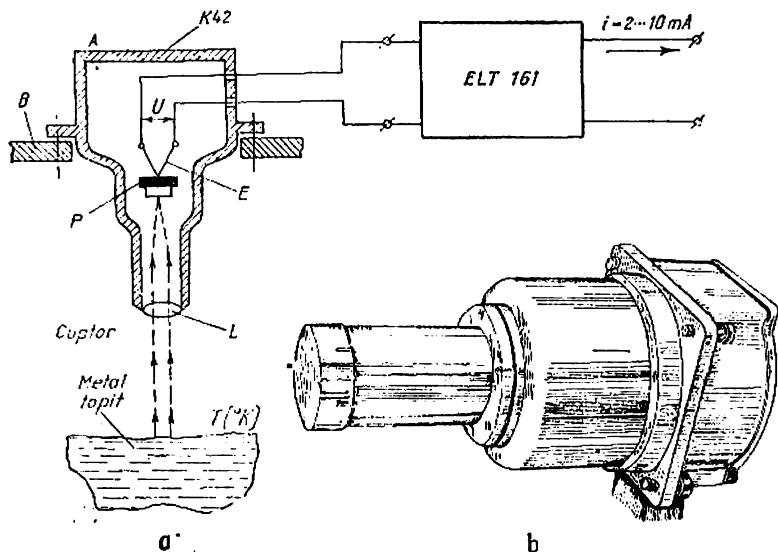


Fig. 11.21. Traductor pirometric:
a — scheme de legare; *b* — aspect exterior.

Traductorul pirometric conţine şi adaptorul IEA tip ELT 161, care transformă tensiunea U în semnal unificat de curent $i = 2...$ $... 10$ mA corespunzător diverselor domenii de măsurare a temperaturii: 600—1 400°C; 700—1 500°C; 700—1 600°C; 800—1 700°C şi 1 000—2 000°C.

În figura 11.21, *b* este prezentat aspectul exterior al pirometrului de radiaţie totală tip K 42 (IEA).

5. TRADUCTOARE DE INDUCŢIE

Traductoarele de inducţie fac parte din categoria *traductoarelor generatoare*, adică transformă mărimea de măsurat direct într-o tensiune electrică (curent electric), fără a mai fi nevoie de o sursă ajutătoare.

Aceste tipuri de traductoare se bazează pe transformarea mărimii de măsurat, care este o deplasare, viteză sau acceleraţie, într-o tensiune electromotoare de inducţie.

● **Traductorul tahometric.** Dintre tipurile de traductoare de inducţie, cel mai des folosit este traductorul tahometric sau *tahogeneratorul*, care este de fapt un mic generator electric, construit atît pentru curent alternativ, cît şi pentru curent continuu.

● **Debitmetrul de inducţie.** Se foloseşte la măsurarea debitului unui lichid conductor care circulă printr-o conductă izolată, lichid care de obicei este corosiv (de exemplu acid) şi care deci nu poate veni în contact cu piese metalice.

Elementul sensibil se compune dintr-un corp cilindric C din material izolant prin care circulă moleculele de lichid (notate cu semnul ⊕) cu viteza v (fig. 11.22).

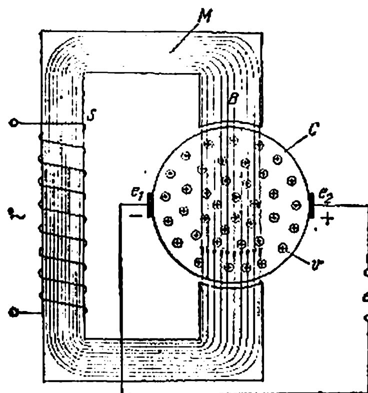
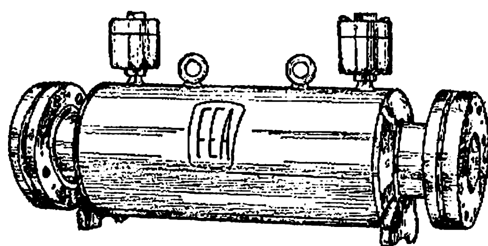


Fig. 11.22. Debitmetru de inducţie.

Într-o secţiune (zonă) a conductei este plasat un electromagnet M cu o înfăşurare S alimentată cu tensiunea alternativă U. Fluxul magnetic produs de inducţia magnetică B străbate perpendicular conducta şi, datorită deplasării lichidului, induce în masa lichidului o tensiune electromotoare e care este culeasă pe electrozii e_1 şi e_2.

○ **Observaţie.** Tensiunea obţinută conform legii inducţiei (Lenz) este proporţională cu viteza v şi rezultă perpendicular pe direcţia cîmpului magnetic (legea mîinii drepte).

Deoarece debitul D de lichid este proporţional cu viteza, rezultă că tensiunea e este proporţională şi cu debitul D.


Fig. 11.23. Detector de debit tip FL.281.S.

Prin integrarea într-un anumit timp a tensiunii e se obţine o mărime proporţională cu debitul total scurs prin conductă în timpul respectiv.

Industria românească (IEA) fabrică un asemenea element sensibil, denumit şi „detector electromagnetic de debit" tip FL 281 S, a cărui vederede ansamblu este prezentată în figura 11.23. Acesta constituie împreună cu adaptorul tip ELT 530 un traductor de debit care produce la ieşire semnal unificat (2—10 mA).

6. TRADUCTOARE TERMOELECTRICE

Sînt traductoare generatoare a căror funcţionare se bazează pe tensiunea electromotoare (numită tensiune termoelectromotoare) care apare în punctul de sudare (joncţiune) a două materiale diferite supuse încălzirii. Această tensiune, care este proporţională cu temperatura măsurată, poate fi pusă în evidenţă, de exemplu, cu ajutorul milivoltmetrului mV (fig. 11.24, a). Circuitul format din cele două conductoare (termoelectrozi) poartă şi numele de *termocuplu*.

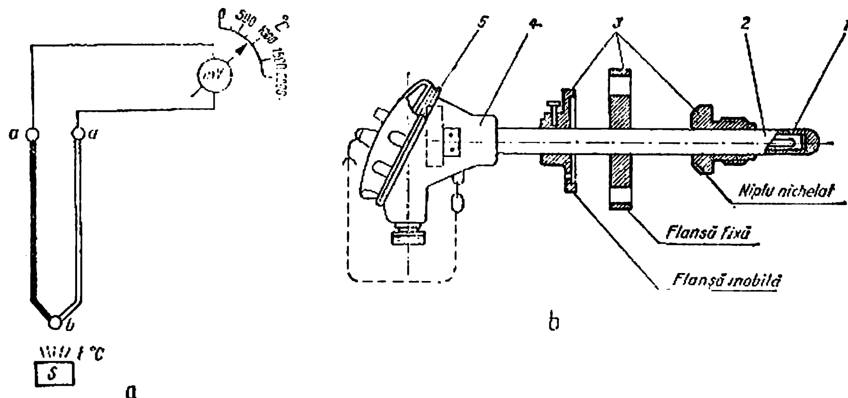


Fig. 11.24. Termocuplu:

a — schema de legare; *b* — aspect exterior:
1 — element sensibil; *2* — ţeavă de protecţie; *3* — dispozitiv de montare; *4* — cutie de borne cu capac; *5* — placă de borne.

Tensiunile termoelectromotoare obţinute de la termocupluri sînt de obicei cuprinse între 5 şi 50 mV.

Industria românească (IEA) fabrică o mare varietate de termocupluri, din diverse materiale şi pentru mai multe game de temperatură.

În figura 11.24, *b* este prezentat aspectul exterior al unui termocuplu fabricat la IEA.

Termocuplurile descrise mai sus sînt folosite în combinaţie cu blocurile de gamă H71, H73 sau H76 şi cu adaptoarele ELT 160 sau ELT 161 (fig. 11.8 şi 11.9), constituind astfel diverse traductoare de temperatură cu semnal de ieşire unificat (2—10 mA).

7. TRADUCTOARE pH-METRICE

În procesele de producţie cu caracter chimic (industria alimentară, chimie, celuloză, hîrtie, petrol etc.) interesează determinarea gradului de aciditate sau alcalinitate al soluţiilor (*p*H-ul).

Pentru determinarea *p*H-ului se utilizează metode electrometrice, bazate pe faptul că între un metal cufundat într-o soluţie care conţine ionii metalului şi soluţia respectivă apare o diferenţă de potenţial E. Această tensiune electrică E depinde de concentraţia activă c a ionilor de metal şi de temperatura absolută T (°K).

Se defineşte ca *p*H-ul unei soluţii logaritmul zecimal al concentraţiei ionilor de hidrogen considerat cu semnul minus:

$$pH = -\log c_{H^+}. \tag{11.12}$$

Similar, se poate defini un indicator corespunzător ionilor de oxidril:

$$pOH = -\log c_{OH^-}. \tag{11.13}$$

Pentru apa pură (neutră), cele două mărimi sînt egale, şi anume:

$$pH = pOH = 7. \tag{11.14}$$

Prin adăugarea unui acid în apă concentraţia ionilor de hidrogen creşte, deci *p*H-ul creşte:

SOLUŢIE ACIDĂ: $7 < pH < 14$

Idem, prin adăugarea unei baze (soluţie alcalină) concentraţia ionilor de hidrogen scade:

SOLUŢIE BAZICĂ: $0 < pH < 7$

Pentru un acid pur (100%) rezută $pH = 14$, iar pentru o bază pură (100%) $pH = 0$.

Determinarea valorii *p*H se face cu un element sensibil format din doi electrozi introduşi într-un vas conţinînd lichidul de analizat.

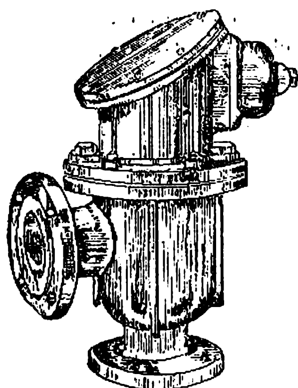


Fig. 11.25. Detector de pH tip W63.

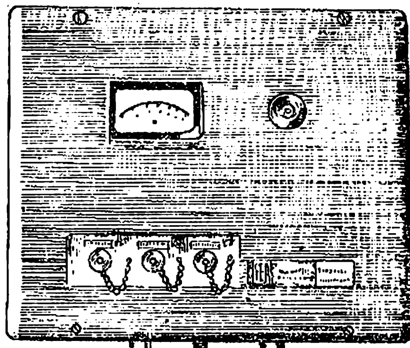


Fig. 11.26. Adaptor ELT 630 pentru pH-metru.

Între fiecare electrod și lichid, deci între cei doi electrozi, va rezulta o tensiune U dependentă de pH.

În țara noastră se fabrică traductoare pH-metrice (IEA), ca de exemplu tipurile care folosesc elemente sensibile W62 și W63. Tipul W62 folosește pentru măsurări discontinue prin imersie (cufundare într-o cantitate de soluție), iar tipul W63 permite măsurarea pH-ului în flux continuu, situație în care el se montează în circuitul unei conducte.

În figura 11.25 este prezentat aspectul exterior al elementului sensibil W63, iar în figura 17.26 adaptorul ELT 630 care constituie împreună traductorul pH-metric.

REZUMAT

1. Elementele de automatizare care transformă o mărime oarecare (temperatură, presiune etc.) într-o mărime electrică se numesc traductoare.

2. În structura traductoarelor intră unul sau mai multe convertoare (elemente sensibile), precum și adaptoare care permit obținerea la ieșire a unor valori dorite sau unificate (de exemplu: semnalul de curent unificat: 2—10 mA sau 4—20 mA sau de presiune unificată: 0,2—1 kgf/cm²).

3. Traductoarele se clasifică în funcție de mărimea electrică de la ieșire (traductoare parametrice sau generatoare), precum și în funcție de mărimea de la intrare, care este „tradusă" (traductoare de deplasare, de viteză, de debit, de presiune etc.).

4. Traductoarele se folosesc în schemele de automatică pentru măsurarea și prelucrarea pe cale electrică (de exemplu folosind un voltmetru sau ampermetru) a unor mărimi neelectrice.

5. Industria românească (IEA) realizează o gamă variată de traductoare în cadrul sistemului unificat „E", folosind diverse elemente sensibile însă cu un număr redus de adaptoare, care asigură la ieșire semnal unificat de curent $i = 2 \dots 10$ mA.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Funcționarea traductoarelor parametrice inductive se bazează pe:
   a) legea inducției electromagnetice?
   b) variația reluctanței circuitului magnetic?
   c) modificarea curentului electric ce străbate traductorul?
2. Unele tipuri de traductoare se numesc generatoare, deoarece:
   a) necesită o sursă de energie în circuitul de ieșire?
   b) sînt folosite ca generatoare de energie (putere) electrică?
   c) mărimea de ieșire este un curent sau o tensiune electrică?
3. Traductoarele IEA din sistemul unificat E prezintă în structura lor:
   a) elemente sensibile de semnal unificat?
   b) adaptoare cu semnal de ieșire unificat?
   c) aceleași tipuri de convertoare?
4. Convertoarele sînt subelemente întîlnite în automatică, avînd funcția de:
   a) transformare a unei mărimi în altă mărime dependentă de aceasta?
   b) convertire a curentului continuu în curent alternativ?
   c) convertire a unei presiuni oarecare în semnal unificat de presiune: 0,2 — 1 kgf/cm^2?
5. Convertorul duză-paletă asigură o dependență între următoarele mărimi:
   a) curent-presiune?
   b) presiune-curent?
   c) deplasare-presiune?
6. Adaptoarele sînt elemente de automatizare care permit:
   a) mărirea semnalului obținut la ieșirea unui element?
   b) menținerea constantă a semnalului de intrare într-un element?
   c) convertirea semnalelor la valori unificate.

CAPITOLUL 12

AMPLIFICATOARE ŞI RELEE

A. AMPLIFICATOARE

1. INTRODUCERE

Mărimile măsurate au în majoritatea cazurilor valori foarte mici, astfel încît este necesară mărirea lor proporţională, adică amplificarea lor.

Aşa cum s-a arătat în capitolul precedent, de exemplu, tensiunea produsă de un termocuplu este de cîţiva milivolţi, iar cea produsă de un traductor *p*H-metric are o valoare mult mai mică. Bineînţeles, o asemenea valoare de tensiune, chiar dacă poate deplasa acul indicator al unui voltmetru, este incapabilă să producă un efect de comandă fără ca ea să fie amplificată anterior. Acest lucru se realizează cu ajutorul unor elemente speciale numite amplificatoare, la care mărimea de intrare de o putere (nivel) relativ mică poate comanda continuu o mărime de ieşire avînd o putere (nivel) mult mai mare. Se înţelege că obţinerea unui factor de amplificare mai mare decît 1 nu este posibilă decît folosind o sursă auxiliară de energie.

Mărimea de intrare i are rolul de a varia „rezistenţa de trecere" a energiei de la sursă spre ieşirea e (fig. 12.1).

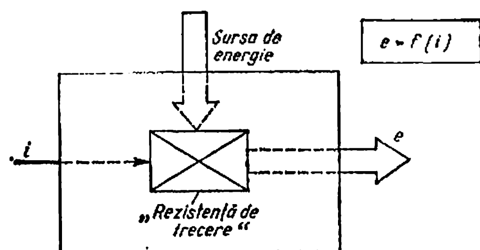


Fig. 12.1. Schema bloc a unui amplificator.

Noţiunea de „rezistenţă de trecere" trebuie înţeleasă aici în sensul general al cuvîntului, adică atît ca o rezistenţă ohmică într-un circuit electric, cît şi ca o rezistenţă hidraulică

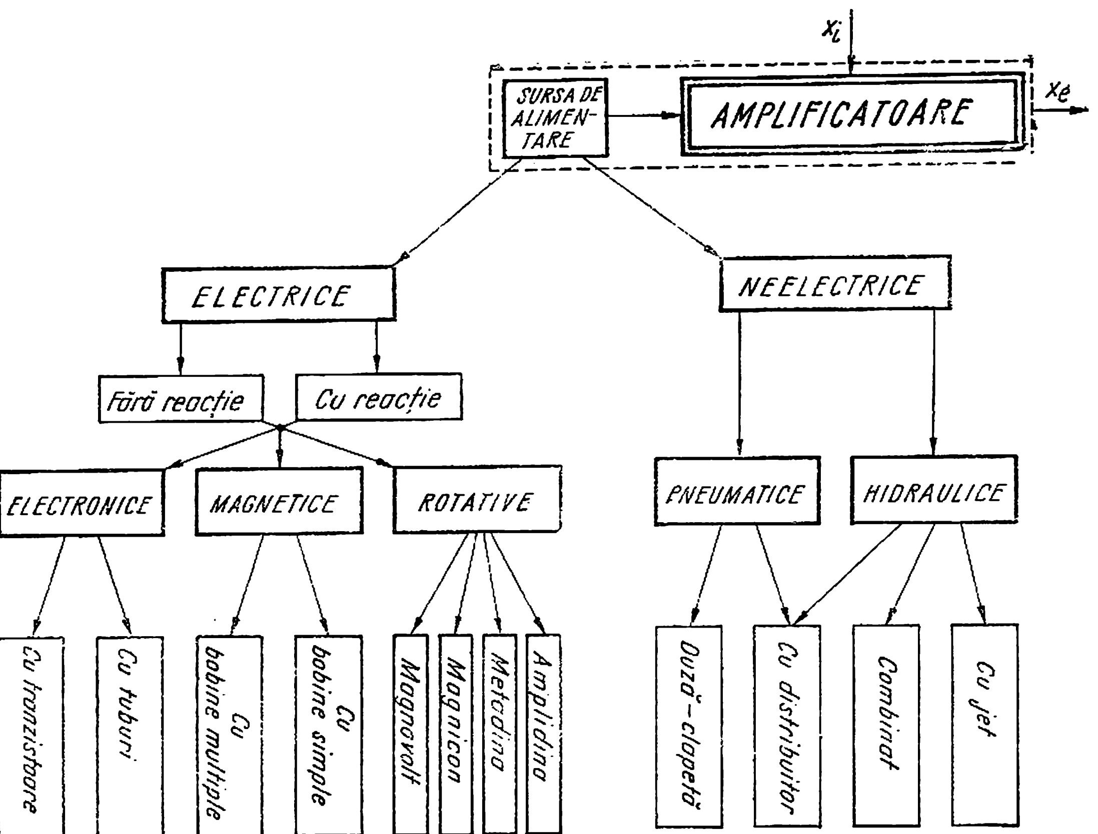


Fig. 12.2. Clasificarea amplificatoarelor.

într-un circuit de trecere al unui lichid sau ca o rezistență pneumatică într-un circuit de gaz (aer comprimat) etc.

De menționat că mărimea de intrare i poate fi, de exemplu, un curent I_i sau o tensiune U_i, iar cea de ieșire e poate fi de asemenea un curent I_e sau o tensiune U_e.

2. CLASIFICAREA AMPLIFICATOARELOR

- **După natura mărimii fizice furnizate de sursa de energie** (sau de alimentare) amplificatoarele se împart în (fig. 12.2):

— *amplificatoare de mărimi electrice* (electronice, magnetice, rotative etc.);

— *amplificatoare de mărimi neelectrice* (mecanice, pneumatice și hidraulice).

- **După modul de interdependență al mărimilor de intrare și de ieșire** se deosebesc:

— *amplificatoare fără reacție*, la care mărimea de ieșire depinde de mărimea de intrare numai pe baza legăturii „directe" (intrare-ieșire);

— *amplificatoare cu reacție*, la care mărimea de ieșire depinde atît de mărimea de intrare, cît și de o mărime „de reacție" r transmisă de la ieșire înapoi la intrare printr-o legătură „inversă" (ieșire-intrare), numită „de reacție".

Dacă mărimea de reacție r se adună cu cea de intrare i, mărind astfel semnalul total aplicat amplificatorului, reacția se numește *pozitivă* (fig. 12.3, *c*), iar dacă r se scade din i reacția se numește *negativă* (fig. 12.3, *d*).

Problemele cele mai complexe le ridică amplificatoarele din prima categorie — amplificatoarele electrice — care, deși sînt principial și constructiv diferite între ele, posedă totuși anumite caracteristici generale comune. Reprezentarea schematică a unui amplificator este dată în figura 12.3, *a*, iar dependența mărimii de ieșire de cea de intrare — caracteristica statică — în figura 12.3, *b*.

3. CARACTERISTICILE GENERALE ALE AMPLIFICATOARELOR ELECTRICE

Spre deosebire de un amplificator perfect — a cărui caracteristică statică este o linie dreaptă (fig. 12.3, *b*) trecînd prin originea axelor de coordonate ($e = K \cdot i$) — caracteristica statică de funcționare a unui amplificator real prezintă o serie de particularități.

Caracteristica statică este o linie dreaptă numai pentru zona de funcționare normală, adică pînă în punctul la care corespunde mărimea de

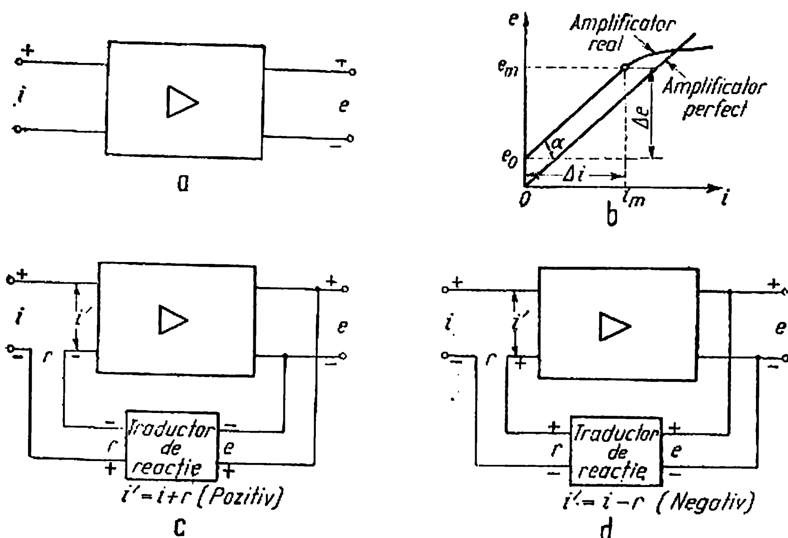


Fig. 12.3. Amplificator:
a — schema electrică; *b* — caracteristica statică; *c* — cu reacție pozitivă; *d* — cu reacție negativă.

intrare maximă i_m și mărimea de ieșire maximă e_m. Dincolo de acest punct, caracteristica prezintă fenomenul de saturație și amplificatorul nu mai funcționează corect.

Coeficientul unghiular K (coeficientul de proporționalitate) al caracteristicii în domeniul liniar ($i < i_m$ și $e < e_m$) este dat de relația:

$$K = \frac{\Delta e}{\Delta i}, \tag{12.1}$$

și poartă numele de *factor de amplificare*, *pantă* sau *sensibilitatea* amplificatorului. Amplificarea putînd fi de curent, de tensiune, de putere etc., factorul de amplificare ia denumirea corespunzătoare.

Caracteristica statică nu trece prin originea axelor de coordonate, ci prezintă o ordonată la origine e_0, numită *valoare de gol*. Ea reprezintă fizic valoarea mărimii de ieșire cînd intrarea este nulă. La amplificatoarele de radio (tip „audio"), valoarea de gol înseamnă un „semnal" sau „zgomot" la ieșire, chiar atunci cînd semnalul la intrare este zero. Din această cauză, valoarea de gol la aceste amplificatoare se mai numește și *zgomotul de fond* sau *perturbația* amplificatorului.

Ținînd seamă de mărimile de mai sus, expresia analitică a caracteristicii statice a amplificatorului este:

$$e = K \cdot i + e_0, \qquad (12.2)$$

și de aceasta se ține seamă la proiectarea schemelor cu amplificatoare.

4. AMPLIFICATOARE CU TRANZISTOARE

Datorită avantajelor pe care le prezintă materialele semiconductoare, în prezent capătă o largă răspîndire amplificatoarele cu tranzistoare.

În figura 12.4, *a* este prezentată schema unui amplificator cu un tranzistor *p-n-p*, la care tensiunea de intrare u_i se aplică între bază (*B*) și emitor (*E*), iar cea de ieșire se obține între colector (*C*) și emitor (*E*).

Amplificatoarele cu tranzistoare sînt elemente de dimensiuni foarte reduse și, în raport cu cele cu tuburi, necesită surse mici de energie (au deci randamentul foarte ridicat); în plus, durata de funcționare mare, sensibilitatea mare la puteri mici de intrare, insensibilitatea la șocuri mecanice și praf, reprezintă tot atîtea *avantaje* ale folosirii acestor amplificatoare.

Dezavantajele principale ale amplificatoarelor cu tranzistoare sînt instabilitatea la temperatură și zgomotul.

Temperatura influențează caracteristicile statice ale tranzistorului, în special prin creșterea conductivității acestuia, adică prin creșterea

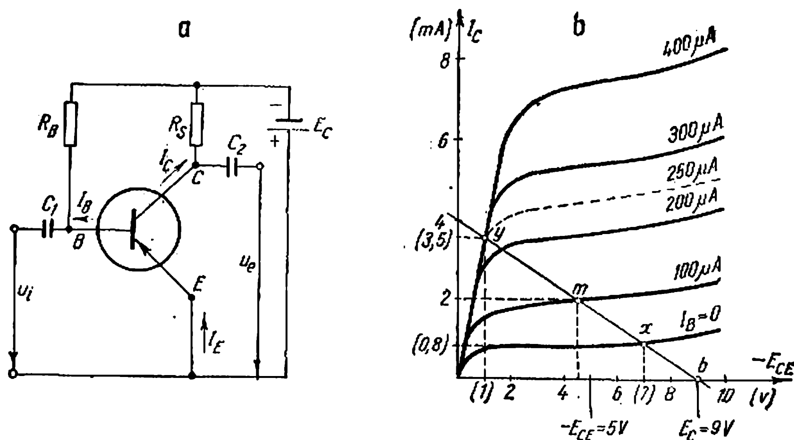


Fig. 12.4. Amplificator cu tranzistor:
a — schema electrică; *b* — caracteristicile de colector.

curentului de colector. Datorită acestui efect, tranzistoarele cu germaniu funcţionează satisfăcător pînă la temperatura de 70°C, iar cele cu siliciu, care sînt mai stabile, pînă la 150°C.

5. AMPLIFICATOARE DE CURENT CONTINUU FOLOSITE ÎN SISTEMUL UNIFICAT „E" (IEA)

Amplificarea directă a semnalelor de curent continuu este dificilă din punct de vedere tehnic, motiv pentru care sînt utilizate amplificatoarele de curent continuu cu „modulare-amplificare-demodulare", numite şi „cu eşantionare" sau „cu chopper".

În aparatura sistemului unificat „E" sînt folosite două asemenea tipuri de amplificatoare de curent continuu, care diferă între ele numai prin construcţia modulatorului: electronic sau magnetic.

● **Amplificatorul electronic de curent continuu folosind modulator electronic** (IEA tip H22), a cărui schemă principială este arătată în figura 12.5, cuprinde un modulator şi un demodulator cu funcţionări similare avînd cîte două tranzistoare (T_1 şi T_2, respectiv T_3 şi T_4) funcţionînd în regim de comutaţie (complet blocat sau complet deschis) şi comandate „sincron" de un oscilator de frecvenţă constantă ($f_0 = 500$ Hz).

Un amplificator de curent alternativ format din trei tranzistoare (T_5, T_6, T_7) asigură procesul de amplificare a mărimii de intrare.

● **Amplificator electronic de curent continuu folosind modulator magnetic** (IEA tip H11). Modulatorul magnetic cuprinde două miezuri magnetice toroidale dintr-un material special (permalloy) care, printr-o schemă adecvată, asigură la ieşire impulsuri dreptunghiulare de ampli-

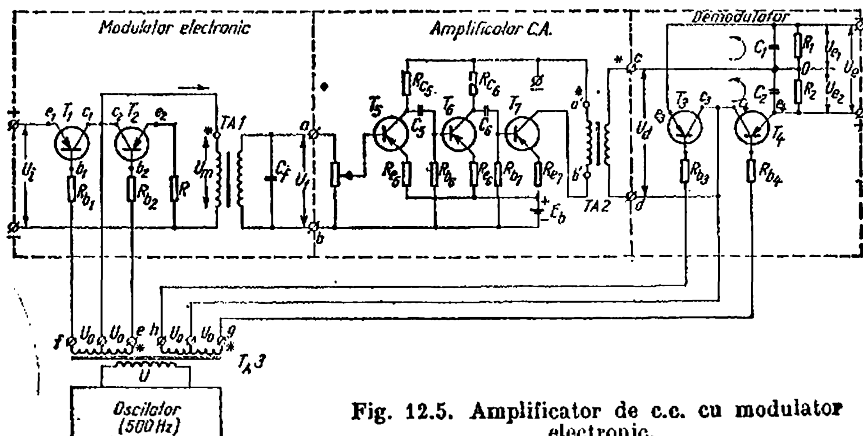


Fig. 12.5. Amplificator de c.c. cu modulator electronic.

tudine constantă însă de durată proporţională cu tensiunea continuă U_i aplicată. Amplificatorul de curent alternativ, oscilatorul şi demodulatorul sînt identice cu cele din cazul precedent, astfel că se asigură, ca şi în primul caz, o tensiune de ieşire U_e continuă, amplificată în raport cu tensiunea U_i.

6. AMPLIFICATOARE PNEUMATICE

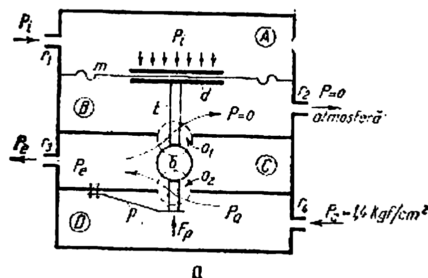
Amplificatoarele pneumatice, ca şi cele hidraulice, sînt destinate amplificării semnalelor primite de la traductoare şi transmit semnalul amplificat elementelor de execuţie pneumatice (hidraulice). Elementele respective sînt amplificatoare de putere, operaţie concretizată în majoritatea cazurilor prin amplificarea forţei, a vitezei sau a amîndurora (puterea fiind produsul între forţă şi viteză).

Sursa de energie folosită este aerul comprimat (elemente pneumatice) şi, respectiv, uleiul sub presiune (elemente hidraulice).

● **Amplificator pneumatic de putere.** Acest tip de amplificator cuprinde un corp cilindric (fig. 12.6, *a*) format din patru camere: *A*, *B*, *C* şi *D*. Camerele *A* şi *B* sînt despărţite prin membrana *m* formată din pînză cauciucată şi rigidizată cu discurile metalice *d* solidare cu tija *t*.

Între camerele *B* şi *C* se află un perete rigid cu un orificiu central o_1 prin care trece tija *t*. Între camerele *C* şi *D* se află de asemenea un orificiu o_2 obturat de bila *b* împinsă în sus de resortul plat *p*. Cele patru camere au racorduri exterioare cu următoarele funcţii:

— camera *A*, racordul r_1 pentru presiunea de intrare P_i;
— camera *B*, racordul r_2 pentru legătura cu exteriorul ($P = 0$);
— camera *C*, racordul r_3 pentru presiunea de ieşire P_e;
— camera *D*, racordul r_4 pentru presiunea de alimentare P_a($P_a = 1,4$ kgf/cm^2 = *ct*).



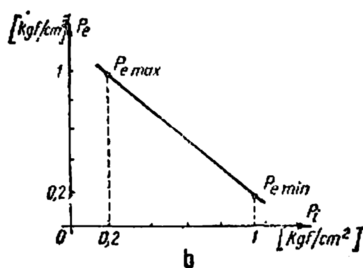


Fig. 12.6. Amplificator pneumatic de putere:
a — schema pneumatică; *b* — caracteristica statică.

Amplificatorul prezentat „defazează" semnalul de intrare P_i cu 180°, adică cînd P_i crește, P_e scade.

Funcționarea amplificatorului are loc în felul următor:

Cînd presiunea de intrare P_i are valoarea minimă $P_i = P_{i\,min} = 0{,}2$ kgf/cm² (nivelul minim al semnalului pneumatic unificat), resortul p împinge bila b în sus pînă ce aceasta obturează complet orificiul o_1. În acest caz, rezistența pneumatică de trecere a orificiului o_2 este minimă, astfel că presiunea de ieșire P_e capătă valoarea maximă ($P_e = P_{e\,max}$) obținută de la presiunea de alimentare P_a.

Cînd presiunea de intrare P_i are valoarea maximă $P_i = P_{i\,max} = 1$ kgf/cm² (nivelul maxim al semnalului pneumatic unificat), forța F_p a resortului p este învinsă, bila b fiind împinsă în jos (prin tija t) pînă ce aceasta obturează complet orificiul o_2. Rezistența pneumatică de trecere a orificiului o_1 este minimă, astfel că presiunea de ieșire P_e capătă valoarea minimă ($P_e = P_{e\,min}$) prin legarea circuitului de ieșire direct cu atmosfera ($P = 0$).

În sfîrșit, *pentru valori intermediare ale presiunii P_i* (0,2—1 kgf/cm²), bila b ocupă o poziție intermediară astfel că presiunea P_e capătă o valoare intermediară între $P_a = 1{,}4$ kgf/cm² și $P = 0$ (atmosferă), datorită legării simultane a camerelor B, C și D prin rezistențele pneumatice de trecere a aerului prin orificiile o_1 și o_2.

În figura 12.6, b este arătată caracteristica statică a acestui amplificator, din care se observă defazarea semnalului de intrare (cînd P_i crește, P_e scade și invers).

Amplificatoarele pneumatice pot fi realizate „cu distribuitor", similar cu cel hidraulic din figura 12.8.

7. AMPLIFICATOARE HIDRAULICE

● **Amplificator hidraulic cu jet.** În figura 12.7 este prezentat un amplificator hidraulic cu jet. Deplasarea (forța aplicată) tijei t_i constituie mărimea de intrare I și ea este primită de la un element sensibil (de exemplu, un traductor). Această tijă deplasează tubul cu jet j în fața orificiilor O_1 și O_2 ale unor tuburi d_1 și respectiv d_2.

Tubul cu jet este articulat în punctul f și alimentat cu ulei sub presiunea P_0 prin conducta C. Tuburile d_1 și d_2 alimentează, pe la cele două capete, un cilindru N în care se află pistonul P.

Detalii în legătură cu poziția jetului f față de orificiile O_1 și O_2 se văd în secțiunea $A—A$ din figura 12.7.

Cînd tija de intrare t_i se deplasează în sus învingînd rezistența resortului r (reglabil cu ajutorul șurubului S), secțiunea S_1 de trecere a uleiului spre orificiul O_1 crește, respectiv secțiunea S_2 de trecere spre orificiul

O_2 scade, ceea ce are ca efect creşterea presiunii P_1 faţă de P_2 şi deci deplasarea în jos a pistonului P, inclusiv a tijei de ieşire t_e.

Cînd t_i se deplasează invers, adică în jos, S_2 creşte şi S_1 scade, deci $P_2 > P_1$ şi pistonul P se deplasează în sus. Pentru o poziţie mediană $S_1 = S_2$, deci $P_1 = P_2$ şi pistonul P (împreună cu tija de ieşire t_e) stă pe loc.

Uleiul „uzat“ merge la evacuare avînd presiunea scăzută şi este apoi repompat în circuit.

● **Amplificator hidraulic cu distribuitor** (fig. 12.8). Tija de intrare t_i deplasează sistemul de pistoane P_1 şi P_2 din distribuitorul D, alimentînd prin tuburile d_1 şi d_2 pistonul principal P, solidar cu tija de ieşire t_e. Cînd t_i se deplasează în sus (ca în figură), uleiul sub presiunea P_a trece prin orificiul O_1 şi tubul d_1 — în cilindrul principal N, împingînd pistonul P şi tija t_e în jos. Uleiul de sub pistonul P este evacuat prin tubul d_2 şi orificiul O_2.

Cînd t_i se deplasează în jos, astfel că pistonul P_1 coboară sub orificiul O_1, iar P_2 coboară sub O_2, uleiul sub presiune este pus în legătură cu tubul d_2 împingînd pistonul P în sus; uleiul uzat de deasupra pistonului P este evacuat prin

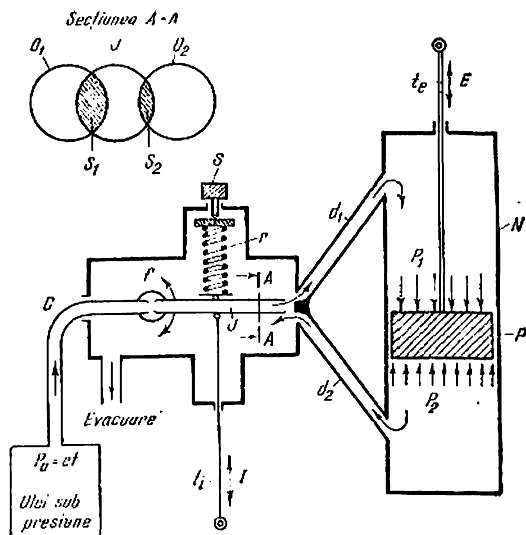


Fig. 12.7. Amplificator hidraulic cu jet.

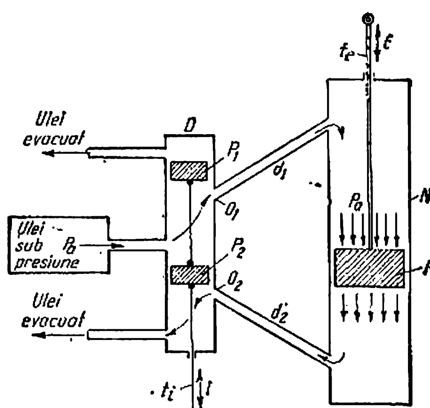


Fig. 12.8. Amplificator hidraulic cu distribuitor.

tubul d_1 și pe deasupra pistonului P_1. Cînd t_1 se află în poziția mediană, pistoanele P_1 și P_2 închid orificiile O_1 și respectiv O_2, astfel că pistonul P și tija t_e se opresc în poziția în care se află.

B. RELEE

1. INTRODUCERE

Spre deosebire de traductoare și amplificatoare, la care mărimea de ieșire e variază continuu în funcție de mărimea de intrare i (caracteristica de funcționare este o linie continuă), releele sînt elemente la care mărimea de ieșire variază brusc (în salt) atunci cînd mărimea de intrare atinge o valoare prescrisă, numită *valoare de acționare (excitare)*. La scăderea mărimii de intrare sub o *valoare* numită *de revenire*, are loc saltul invers al mărimii de ieșire. Pentru exemplificare, în figura 12.9, *a* este prezentat un releu electromagnetic format dintr-o armătură fixă de oțel *1* și o armătură mobilă *2*, de asemenea de oțel. Pe armătura fixă este înfășurată o bobină *3*, străbătută de curentul I_i, armătură care constituie astfel un electromagnet. Cînd curentul de intrare crește, armătura *2* este atrasă, însă resortul antagonist *4* se opune deplasării acesteia. Cînd curentul I_i atinge valoarea de acționare I_{i1}, rezistența resortului este învinsă, armătura *2* este atrasă și prin rotirea în jurul punctului *5* închide contactul C_1. Prin închiderea acestui contact, în circuitul de ieșire va

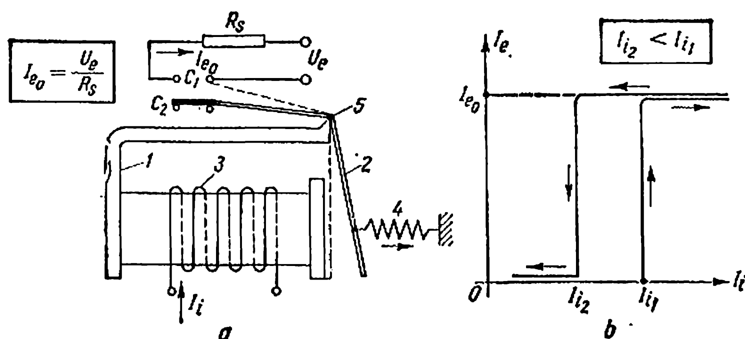


Fig. 12.9. Releu electromagnetic:
a — schema constructivă; *b* — caracteristica statică.

apărea un curent I_{e0}. Se observă că valoarea curentului de ieşire depinde exclusiv de parametrii circuitului de ieşire:

$$I_{e0} = \frac{U_e}{R_s}. \tag{12.3}$$

Deci funcţionarea unui releu poate fi prezentată prin următoarele relaţii simple (fig. 12.9, *b*):

$$I_i < I_{i1} \text{ (}C_1\text{ deschis), situaţie în care } I_e = 0; \tag{12.4}$$

$$I_i \geqslant I_{i1} \text{ (}C_1\text{ închis), cînd } I_e = I_{e0} \tag{12.5}$$

La scăderea curentului I_i armătura nu este eliberată încă, chiar dacă curentul scade puţin sub valoarea de acţionare. La o anumită valoare I_{i2} a curentului I_i, numită valoare de revenire, şi care este mai mică decît cea de acţionare ($I_{i2} < I_{i1}$), armătura *2* este eliberată, contactul C_1 se deschide şi I_e devine zero.

La revenire, relaţiile sînt deci următoarele:

$$I_i < I_{i2} \text{ (}C_1\text{ este închis), iar } I_e = I_{e0}; \tag{12.6}$$

$$I_i \leqslant I_{i2} \text{ (}C_1\text{ se deschide) şi } I_e = 0. \tag{12.7}$$

Contactul C_1, care este deschis în starea „normală" a releului (releu neexcitat), se numeşte *contact normal deschis.*

Contactul C_2 (fig. 12.9, *a*), care este închis în starea normală a releului, se numeşte *contact normal închis.*

2. CARACTERISTICILE ŞI UTILIZAREA RELEELOR

În majoritatea cazurilor, mărimea de la ieşirea releelor (X_e) este de natură electrică, adică un contact* stabileşte brusc un curent sau o tensiune. Mărimea de intrare (X_i) poate fi însă de natură electrică sau neelectrică şi în funcţie de aceasta se deosebesc *releele electrice* (de curent, de tensiune, de putere, de frecvenţă etc.) şi *relee neelectrice* (de temperatură, de presiune, de debit, de viteză etc.).

În figura 12.10 se prezintă o clasificare, din punctul de vedere al mărimii de intrare (X_i) sau de ieşire (X_e), a principalelor tipuri de relee.

---

* În prezent se construiesc şi relee fără contacte (statice), la care variaţia bruscă a curentului sau tensiunii se realizează pe cale electronică sau magnetică.

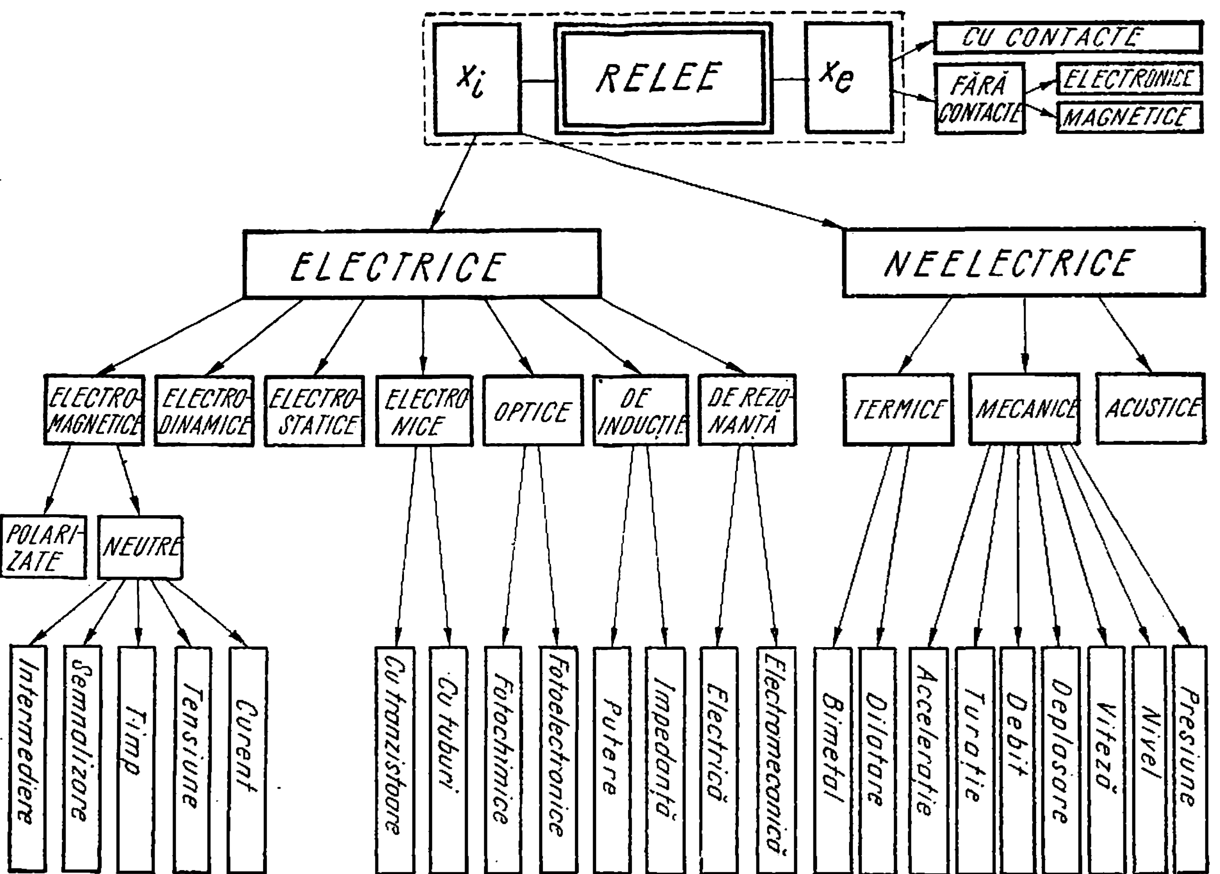


Fig. 12.10. Clasificarea releelor.

● **Mărimile ce caracterizează un anumit releu:**

— *natura fizică a mărimii de intrare* (acţionare);

— *putere absorbită la intrare pentru ca releul să funcţioneze* (această putere poate varia între valori cuprinse sub 1 W şi circa 40 W);

— *curentul* (puterea) *transmis de contacte în circuitul de ieşire.*

În afară de curenţi se stabilesc şi limite admisibile pentru tensiune şi se precizează natura sarcinii. De exemplu. un contact rupe 2A la 110V şi sarcină rezistivă sau 0,5A la 220V şi sarcină inductivă;

— *numărul de funcţionări ale releului fără ca aceasta să se strice* (de exemplu 500 000);

— *numărul şi poziţia contactelor* (de exemplu un releu are şase contacte normal deschise şi două contacte normal închise);

— *domeniul de funcţionare* (de exemplu, un releu de curent poate fi reglat să funcţioneze între 2,5 A şi 10 A);

— *timpul propriu de funcţionare*, care prezintă timpul scurs de la aplicarea mărimii de acţionare pînă la închiderea contactelor şi în funcţie de care releele se împart în:

— relee instantanee, care prezintă o întîrziere în funcţionarea de 0,01—0,05 s, inerentă oricărui sistem fizic ce are o inerţie;

— relee temporizate (de timp), care prin construcţie specială pot închide contactele după un timp oarecare, reglabil (de exemplu la 0,1—10 s sau chiar mai mult).

● **Utilizarea releelor.** Releele sînt folosite în automatică, mai ales în unele domenii, ca: protecţia prin relee, comanda automată „secvenţială“ etc., în următoarele scopuri:

— pentru a comanda într-un circuit electric un curent de o valoare mare cu ajutorul unui curent de o valoare relativ mai mică (de exemplu, un releu acţionează la un curent de 0,2 A, iar contactul său comandă închiderea unui circuit cu un curent de 10 A);

— pentru multiplicarea numărului de circuite comandate de un singur circuit (de exemplu, un releu primeşte un semnal de la un traductor şi, închizînd trei contacte, stabileşte trei circuite distincte, cu destinaţii deosebite;

— pentru a acţiona la atingerea unei anumite valori a unui parametru controlat (de exemplu, un releu este conectat în circuitul de curent al unui motor şi acţionează cînd acest curent atinge valoarea de 25 A — periculoasă pentru motor);

— pentru a întîrzia un anumit semnal (temporizare), adică contactul se închide după un anumit timp de la excitare.

Releele construite pe principiul electromagnetic sînt cele mai răspîndite relee electrice; ele sînt folosite în curent continuu şi alternativ. Releul din figura 12.9, *a* este un releu electromagnetic. Aşa cum s-a ară-

tat, funcţionarea unui releu electromagnetic se bazează pe atragerea unei armături de oţel de către o bobină cu miez de fier (electromagnet). *Releele electromagnetice* se realizează sub forma următoarelor tipuri: *de curent*, *de tensiune*, *de timp*, *intermediare*, *de semnalizare* etc., fiind fabricate în principal la Întreprinderea „Electromagnetica" — Bucureşti.

3. RELEE FOTOELECTRONICE

În figura 12.11 este prezentat un tip de releu fotoelectronic care funcţionează la o anumită valoare de acţionare Φ_1 a unui flux luminos Φ ce cade pe celula fotoemisivă F. După cum se ştie, rezistenţa internă (ohmică) R_F a unei asemenea celule scade o dată cu creşterea iluminării ei, datorită fenomenului de emisiune fotoelectronică. Celula F este înseriată cu rezistenţa fixă R_0 şi este alimentată între punctele a şi c cu tensiunea U_a. Notînd cu I_0 curentul ce străbate acest circuit, se poate scrie:

$$I_0 = \frac{U_a}{R_F + R_0}, \qquad (12.8)$$

de unde rezultă tensiunea bazei tranzistorului T (faţă de masă):

$$U_b = R_0 \cdot I_0 = \frac{R_0}{R_F + R_0} U_a. \qquad (12.9)$$

Releul funcţionează pentru:

$$U_b > U_{b1} = U_e, \qquad (12.10)$$

în care U_e este tensiunea emitorului, care este constantă

$$\left(U_e = U_a \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right).$$

Aşadar, cînd fluxul luminos Φ creşte atingînd valoarea Φ_1, rezistenţa celulei scade pînă la valoarea R_{F1} şi tensiunea bazei U_b creşte atingînd valoarea U_{b1} la care releul electromagnetic E funcţionează. Releul descris reprezintă un releu maximal de flux luminos, adică funcţionează pentru $\Phi > \Phi_1$.

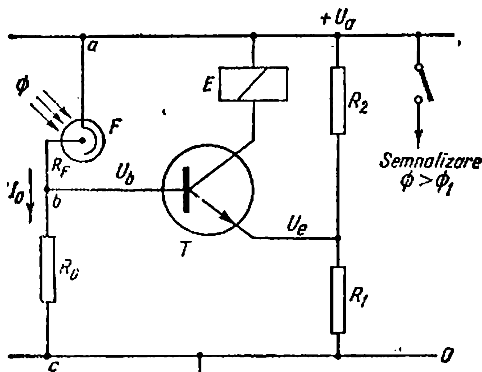


Fig. 12.11. Releu fotoelectronic cu contact.

Dacă se inversează locul celulei F cu rezistenţa R_0, expresia tensiunii bază-masă devine:

$$U_b = R_F \cdot I_0 = \frac{R_F}{R_0 + R_F} U_a. \tag{12.11}$$

Aceasta înseamnă că U_b creşte, adică releul funcţionează — conform relaţiei (12.10) — cînd R_F creşte, adică fluxul luminos scade; deci s-a obţinut un releu minimal de flux luminos.

4. RELEE DE MĂRIMI NEELECTRICE

Releele de mărimi neelectrice (pe scurt releele neelectrice) au ca mărime de intrare o mărime de altă natură decît cea electrică. Se disting astfel *relee de temperatură*, *de nivel*, *de debit*, *de viteză*, *de acceleraţie*, *de presiune*, *de deplasare* etc. În toate cazurile însă, acţiunea releului constă în stabilirea sau întreruperea unui circuit electric, adică a unui curent sau a unei tensiuni electrice.

Se poate imagina un număr foarte mare de relee neelectrice, combinînd un traductor al unei mărimi neelectrice (din cele studiate în cap. 11) cu un releu electric oarecare. Mărimea de la ieşirea traductorului poate fi eventual amplificată pentru a comanda releul.

● În figura 12.12 este prezentat un **releu de temperatură cu bimetal**, realizat din două lame L_1 şi L_2 sudate între ele, confecţionate din metale cu coeficienţi de dilatare d_1 şi d_2 foarte diferiţi. Prin încălzire de la o sursă S avînd temperatura t°C, lamelele L_1 şi L_2 dilatîndu-se diferit (de exemplu $d_1 < d_2$, deci alungirea lui L_2 este mai mare ca a lui L_1) bimetalul se curbează (arcuieşte). Deoarece diferenţa de alungire creşte cu temperatura — deci curbarea este cu atît mai accentuată cu cît temperatura este mai mare — rezultă că pentru o anumită valoare t_1 a temperaturii, contactul C se va stabili, deci releul va funcţiona.

Închiderea contactului C constă în atingerea bornelor a şi b de către lama metalică K, ceea ce are ca efect, de exemplu, stabilirea curentului de sarcină I_s.

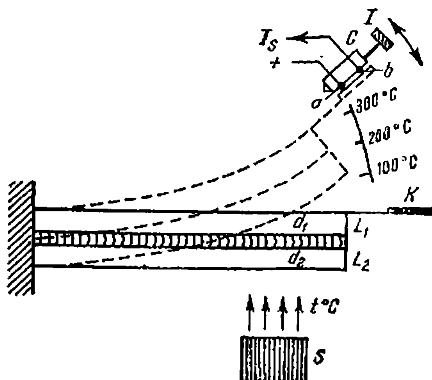


Fig. 12.12. Releu termic cu bimetal.

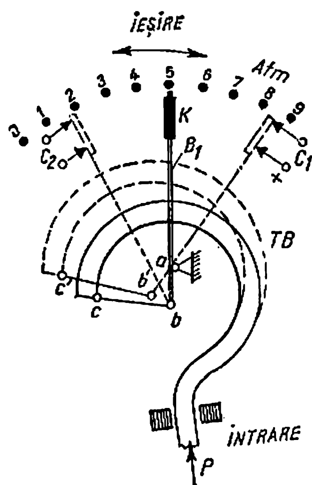


Fig. 12.13. Releu de presiune.

Schimbînd poziția contactului C cu ajutorul șurubului de fixare I de-a lungul unei scări gradate (t°C), releul poate fi reglat să funcționeze la diverse valori ale temperaturii.

● În figura 12.13 este arătat un **releu de presiune realizat pe același principiu ca unele manometre cu ac indicator.** Tubul circular elastic TB, numit și tub Bourdon, antrenează prin pîrghia B_1 lama metalică K. Punctul a este un punct fix de articulație, iar b și c sînt puncte de articulație mobile. Cînd presiunea P aplicată releului crește, tubul Bourdon se destinde (figurat punctat), punctul c se deplasează în c', iar punctul b în b', ceea ce are ca efect rotirea pîrghiei B_1 și deci deplasarea lamei K.

Cînd presiunea P atinge valoarea maximă P_1, lama K închide contactul C_1 (contact de maxim), iar cînd presiunea scade la valoarea minimă P_2, se închide contactul C_2 (contact de minim). Un asemenea tip de releu se mai numește și *manometru cu contact*, brațul B_1 constituind în același timp și acul indicator care se deplasează în fața unei scări gradate (atm).

REZUMAT

1. Amplificatoarele sînt elemente folosite în automatizare care măresc (amplifică) proporțional cu un factor de amplificare mărimea aplicată la intrarea lor.

2. Necesitatea amplificatoarelor rezultă din faptul că mărimile obținute de la traductoare sînt insuficiente ca putere, pentru a acționa direct asupra unui organ de comandă dintr-o instalație de automatizare.

3. Amplificatoarele se construiesc atît pentru mărimi electrice (amplificatoare electronice, magnetice etc.), cît și pentru mărimi neelectrice (amplificatoare pneumatice și hidraulice).

4. Releele sînt elemente de automatizare cu funcționare discontinuă la ieșire (închidere-deschidere a unui contact) atunci cînd mărimea de intrare depășește (sau scade sub) o anumită valoare.

5. Releele se clasifică în funcție de natura mărimii de intrare (curent, temperatură, presiune etc.), numărul și puterea contactelor, domeniul de aplicare etc.

6. Releele pot fi folosite în următoarele scopuri:
- măsurarea unui parametru controlat;
- amplificare de putere;
- multiplicarea numărului de circuite într-o schemă;
- întîrzierea unui semnal (temporizare).

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Amplificarea în putere a amplificatoarelor se datorește:
   a) legării în cascadă?
   b) folosirii unei surse de energie auxiliară?
   c) fenomenului de saturație?
2. Amplificatoarele de curent continuu folosite în sistemul unificat E asigură:
   a) amplificarea directă a tensiunii continue?
   b) amplificarea în curent alternativ?
   c) demodularea semnalelor produse de un oscilator?
3. Funcționarea unui releu are loc în cazul:
   a) închiderii contactelor normal deschise?
   b) deschiderii contactelor normal închise?
   c) depășirii unei anumite valori a mărimii de intrare?
4. Releele fotoelectronice sînt acele elemente care:
   a) comandă variația unui flux luminos?
   b) transformă un flux luminos într-o tensiune electrică?
   c) acționează direct pe baza unui flux luminos?

CAPITOLUL 13

ELEMENTE DE EXECUŢIE

A. NOŢIUNI GENERALE

1. INTRODUCERE

Elementul de execuţie reprezintă *partea prin care dispozitivul de automatizare acţionează asupra instalaţiei tehnologice.*

Deschiderea sau închiderea unui ventil dintr-o conductă, a unui întreruptor într-o reţea electrică, deplasarea cursorului unui reostat în circuitul de excitare al unui generator sincron etc., sînt tot atîtea moduri de intervenţie într-un proces sau instalaţie tehnologică.

Un element de execuţie este format dintr-un *organ de execuţie* (ventil, întreruptor, clapetă, reostat etc.) şi un *motor de execuţie* (numit uneori şi *servomotor*) al acestuia. Din punct de vedere structural, organul de execuţie face parte integrantă din instalaţia tehnologică, iar motorul de execuţie poate să şi lipsească atunci cînd intervenţia în instalaţia tehnologică se face manual.

ELEMENT DE EXECUŢIE = MOTOR + ORGAN (de execuţie)

Introducerea automatizării presupune însă prevederea motoarelor de execuţie, adică mecanizarea organelor de execuţie.

2. PRINCIPIUL DE FUNCŢIONARE

În general, elementele de execuţie au ca principiu de funcţionare fie *variaţia unui debit de fluid prin modificarea secţiunii de trecere*, fie *modificarea cantităţii de substanţă (energie) produsă de o sursă.*

Modificarea cantităţii de substanţă sau de energie poate fi realizată în două moduri:

— *continuu* — atunci cînd cantitatea respectivă trebuie modificată în mod continuu între două valori limită. De exemplu, un ventil modifică continuu cantitatea (debitul de fluid ce trece printr-o conductă), între zero (ventil închis) şi valoarea maximă corespunzătoare ventilului complet deschis;

— *discontinuu* — atunci cînd cantitatea respectivă este modificată discontinuu (discret) numai pentru două valori limită, dintre care una este în general zero („tot sau nimic"). De exemplu, la un întreruptor electric avînd numai două poziţii posibile (deschis sau închis), curentul ce-l străbate poate avea valoarea zero sau o valoare nominală oarecare.

3. TIPURI DE ELEMENTE DE EXECUŢIE

Marea diversitate a proceselor tehnologice supuse automatizării a impus o mare diversitate de elemente de execuţie. Ţinînd seama însă de **natura sursei de energie pentru alimentarea motoarelor**, elementele de execuţie se pot clasifica în (fig. 13.1):

— *elemente de execuţie electrice*;

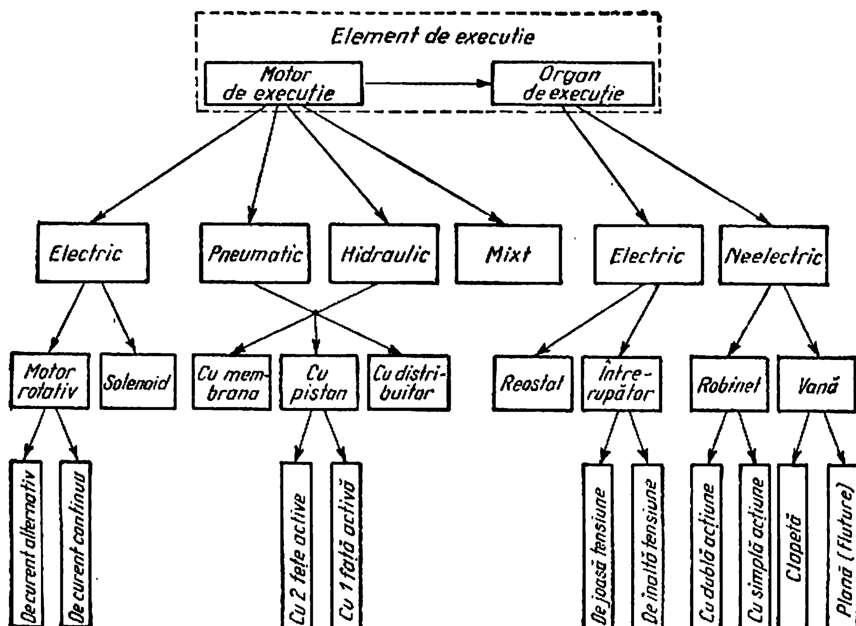


Fig. 13.1. Clasificarea elementelor de execuţie.

— *elemente de execuţie pneumatice*;
— *elemente de execuţie hidraulice*.

Organele de execuţie cele mai des utilizate pentru modificarea cantităţii de substanţă (lichide sau gaze) sînt: *robinetul*, *vana plană*, *vana clapetă* etc.

Aceste tipuri de organe de execuţie necesită motoare de execuţie cu mişcări corespunzătoare.

Organele de execuţie cel mai des întîlnite în instalaţiile electroenergetice sînt: întreruptoarele, reostatele etc.

B. ELEMENTE DE EXECUŢIE ELECTRICE

În principiu, aceste tipuri de elemente se împart în două categorii de bază, şi anume: *cu electromotor* şi *cu electromagnet* (solenoid).

● **Elementele de execuţie cu electromotor** asigură o mişcare circulară continuă care, în general, este redusă de circa 100—200 ori cu ajutorul unui reductor mecanic de turaţie.

Electromotoarele pot fi de curent continuu sau de curent alternativ.

Motoarele de curent continuu folosite sînt de obicei cele cu excitaţie separată.

Viteza de rotaţie depinde de mărimea semnalului aplicat, iar sensul de rotaţie — de polaritatea semnalului respectiv.

Motoarele de curent alternativ sînt fie cele monofazate serie cu colector, fie cele asincrone bifazate.

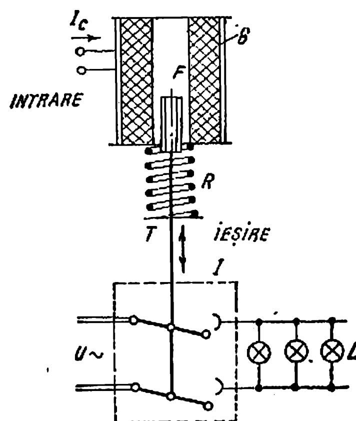


Fig. 13.2. Motor electric cu solenoid.

● **Elementele de execuţie cu electromagnet (solenoid)** asigură o mişcare discontinuă, bipoziţională (închis-deschis, dreapta-stînga etc.). Principial ele sînt executate ca în figura 13.2. Cînd bobina *B* primeşte curentul de comandă I_c, miezul feromagnetic *F* este supus unei forţe de atracţie şi învingînd forţa resortului *R* deplasează tija *T*. În acest mod, dacă tija *T* este, de exemplu, solidară cu întreruptorul *I*, se produce închiderea unui circuit electric şi aprinderea lămpilor *L*. La întreruperea curentului I_c prin bobină, resortul *R* care s-a armat la comanda iniţială readuce tija *T* în poziţia anterioară şi deschide întreruptorul *I*.

Aceste elemente folosesc ca sursă de energie aerul comprimat și se construiesc exclusiv pentru mișcarea de deplasare (translație). Principial sînt utilizate următoarele tipuri de elemente de execuție pneumatice: *cu membrană*, *cu piston* și *cu distribuitor*.

● **Elementele cu membrană** (fig. 13.3) sînt formate dintr-o capsulă manometrică rotundă *C*, prevăzută cu o membrană *M*. Sub membrană se află un disc metalic *D* solidar cu tija *T*, prin care se transmite mișcarea, și un resort antagonist *R*. Aerul comprimat, adus prin conducta *A*, apasă asupra membranei și, învingînd rezistența resortului antagonist, împinge tija în jos. Se observă că poziția tijei, deci a organului de execuție pe care îl comandă, variază continuu (bineînțeles între două limite) în funcție de presiunea aerului. Aerul comprimat are o presiune de obicei între 0,2 și 1 atmosferă, iar cursa tijei este de 1—6 cm.

● **Elementele cu piston** sînt folosite în cazul cînd sînt necesare deplasări mai mari.

În figura 13.4 este prezentat principial motorul pneumatic cu piston, care poate fi executat în două variante constructive: *cu o față a pistonului activă* și *cu ambele fețe ale pistonului active*. În prima variantă (fig. 13.4, *a*) aerul intrînd în cilindrul *C* deplasează în jos tija *T*. Ca și la elementele cu membrană, deplasarea înapoi se face prin scoaterea aerului din cilindru, respectiv prin destinderea resortului armat; poziția tijei depinde de presiunea aerului comprimat.

În varianta a doua (fig. 13.4, *b*) poziția tijei *T* depinde de diferența de presiune între cele două fețe ale pistonului *P*, respectiv de diferența

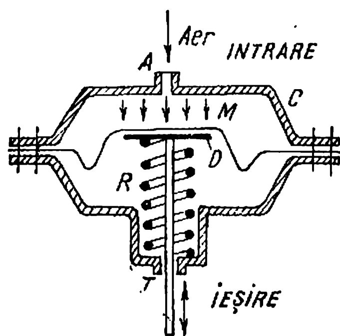


Fig. 13.3. Motor pneumatic cu membrană.

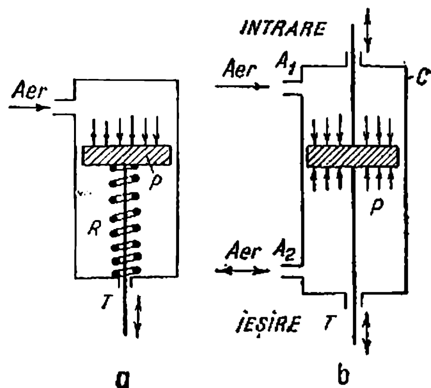


Fig. 13.4. Motor pneumatic cu piston: *a* — cu o față a pistonului activă; *b* — cu ambele fețe active.

de presiune a aerului adus prin conductele A_1 și A_2. Acest tip de motor este folosit în cazul în care se cer forțe egale de acționare în ambele sensuri, deplasarea fiind de circa 5—12 cm.

● **Motoarele de execuție cu distribuitor** sînt asemănătoare amplificatoarelor hidraulice cu distribuitor (v. fig. 12.8).

D. ELEMENTE DE EXECUȚIE HIDRAULICE

Aceste elemente folosesc ca agent motor un lichid sub presiune, de obicei, uleiul. Din punct de vedere constructiv, motoarele hidraulice nu diferă principial de cele pneumatice descrise mai sus; astfel, pot fi *motoare hidraulice cu membrană*, *cu piston* cu o față și cu ambele fețe active, *cu piston și distribuitor* etc.

În corpul cilindric C se află o paletă mobilă M solidară cu axul A. O paletă fixă F cuprinzînd o garnitură de etanșare S („simering") apăsată de resortul R împarte astfel corpul cilindric în două compartimente C_1 și C_2.

Față de cele pneumatice, elementele de execuție hidraulice prezintă următoarele *avantaje:*

— dezvoltă forțe de acționare mult mai mari la aceleași gabarite, datorită presiunii de ulei care poate fi mult mai mare;

— au o acțiune mai rapidă, datorită faptului că uleiul este practic incompresibil.

Ca și elementele pneumatice, cele hidraulice prezintă avantajul că pot fi folosite în medii explozive sau inflamabile, unde elementele electrice nu pot funcționa decît cu măsuri speciale de protejare.

Elementele de execuție hidraulice, ca și cele pneumatice, necesită instalații speciale pentru producerea uleiului sub presiune, respectiv a aerului comprimat. Aceste instalații cuprind rezervoare de ulei sub presiune (respectiv aer), diverse pompe, compresoare, conducte, filtre etc.

Necesitatea prevederii unei instalații speciale de producere a agentului motor (ulei sub presiune sau aer comprimat) constituie un *dezavantaj* al sistemelor pneumatice și hidraulice.

REZUMAT

1. Elementele de execuție sînt acele părți ale unui sistem automat prin care dispozitivul de automatizare acționează asupra instalației tehnologice.

2. Organul de execuție face parte integrantă din instalația tehnologică, însă motorul de execuție trebuie prevăzut obligatoriu în cazul introducerii automatizării.

3. În funcţie de agentul motor folosit, elementele de execuţie se împart în: electrice, pneumatice, hidraulice şi mixte.

4. În funcţie de organul de execuţie, elementele de execuţie pot servi pentru modificarea cantităţii de substanţă (ventile, vane etc.) sau pentru modificarea cantităţii de energie electrică (reostate, întreruptoare etc.).

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. Funcţia elementului de execuţie este aceea de:
   a) a executa comenzile primite de la instalaţia tehnologică?
   b) a modifica valoarea parametrilor din proces?
   c) a transforma o energie (de exemplu electrică) în altă formă de energie (de exemplu hidraulică)?
2. Motorul de execuţie reprezintă:
   a) o parte constitutivă a elementului de execuţie?
   b) o parte constitutivă a instalaţiei tehnologice?
   c) un organ de execuţie în care s-a adăugat un element de execuţie?
3. Organul de execuţie apare absolut necesar la orice instalaţie tehnologică în următorul caz:
   a) numai la introducerea automatizării?
   b) numai la introducerea telemecanizării?
   c) în orice situaţie?

CAPITOLUL 14

REGULATOARE

A. NOȚIUNI GENERALE PRIVIND REGULATOARELE AUTOMATE

1. ELEMENTELE COMPONENTE ALE UNUI REGULATOR AUTOMAT. REACȚIA SECUNDARĂ

Regulatorul este *acel element de automatizare la intrarea căruia se aplică o mărime numită eroare* (sau abaterea) ε *și la a cărui ieșire rezultă mărimea de comandă* x_c, *care determină acționarea elementului de execuție.*

Măsurarea erorii (sau abaterii ε) — care reprezintă diferența dintre valoarea mărimii controlate de regulator și valoarea prescrisă (dinainte stabilită) a acesteia — se realizează cu ajutorul unor traductoare și elemente de comparație.

Prin însăși construcția regulatorului se asigură o asemenea dependență între mărimea de comandă x_c și eroarea ε, încît, ca urmare a acțiunii elementului de execuție comandat de regulator, să se obțină fie anularea abaterii, fie menținerea acesteia între limite dinainte stabilite.

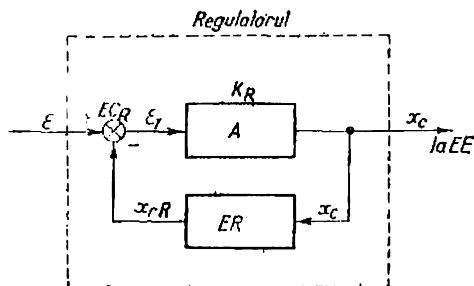


Fig. 14.1. **Elementele componente ale regulatorului.**
A — amplificator; *ER* — element de reacție; EC_R — elementul de comparație al regulatorului.

Cu toate că există o mare varietate de tipuri de regulatoare, orice regulator conține următoarele **elemente componente** (fig. 14.1):

— *amplificatorul*;
— *elementul de reacție*;
— *elementul de comparare.*

● **Amplificatorul**, notat cu *A* în figura 14.1, este elementul de bază al regulatorului.

El amplifică mărimea ε_1 cu un factor K_R, deci realizează o relație de tipul:

$$x_c(t) = K_R \cdot \varepsilon_1(t), \quad (14.1)$$

unde K_R reprezintă factorul de amplificare al regulatorului.

● **Elementul de reacție**, notat în figura 14.1, cu ER, primește la intrare mărimea de comandă x_c (de la ieșirea amplificatorului) și elaborează la ieșire un semnal x_{rR}, denumit mărime de reacție a regulatorului.

● **Elementul de comparare** al regulatorului, notat cu EC_R, efectuează continuu compararea valorilor abaterii ε și a lui x_{rR} după relația:

$$\varepsilon_1(t) = \varepsilon(t) - x_{rR}(t). \quad (14.2)$$

Elementul de reacție secundară determină o dependență proporțională între x_{rR} și x_c (el poate fi un traductor, o rețea de corecție pasivă etc.).

2. CLASIFICAREA REGULATOARELOR

Clasificarea regulatoarelor se poate face după mai multe **criterii**, dintre care vor fi amintite cele mai importante.

● **În funcție de sursa de energie exterioară folosită**, regulatoarele se clasifică în *regulatoare directe* — atunci, cînd nu este necesară o sursă de energie exterioară, transmiterea semnalului realizîndu-se pe seama energiei interne — și *regulatoare indirecte* — care folosesc o sursă de energie exterioară pentru acționarea elementului de execuție.

● **După viteza de răspuns**, regulatoarele se clasifică în *regulatoare pentru procese rapide*, folosite pentru reglarea automată a instalațiilor tehnologice care au constante de timp mici (mai mici de 10 secunde) și *regulatoare pentru procese lente*, folosite atunci cînd constantele de timp sînt mari (depășesc 10 s).

● **După tipul acțiunii**, pot fi *regulatoare cu acțiune continuă* și *regulatoare cu acțiune discretă*.

Regulatoare cu acțiune continuă sînt cele în care mărimile $\varepsilon(t)$ și $x_c(t)$ variază continuu în timp (mărimi analogice); dacă dependența dintre cele două mărimi este liniară (în sensul proporționalității), regulatorul se numește *liniar*, iar dacă este neliniară — *regulator neliniar*.

Regulatoarele cu acțiune discretă (sau regulatoarele discontinue) sînt cele la care mărimea $\varepsilon(t)$, deci și $x_c(t)$, reprezintă un tren de impulsuri; la aceste regulatoare există o relație discontinuă între abaterea și mărimea de execuție.

● **După caracteristicile constructive**, se deosebesc *regulatoare unificate* și *regulatoare specializate*.

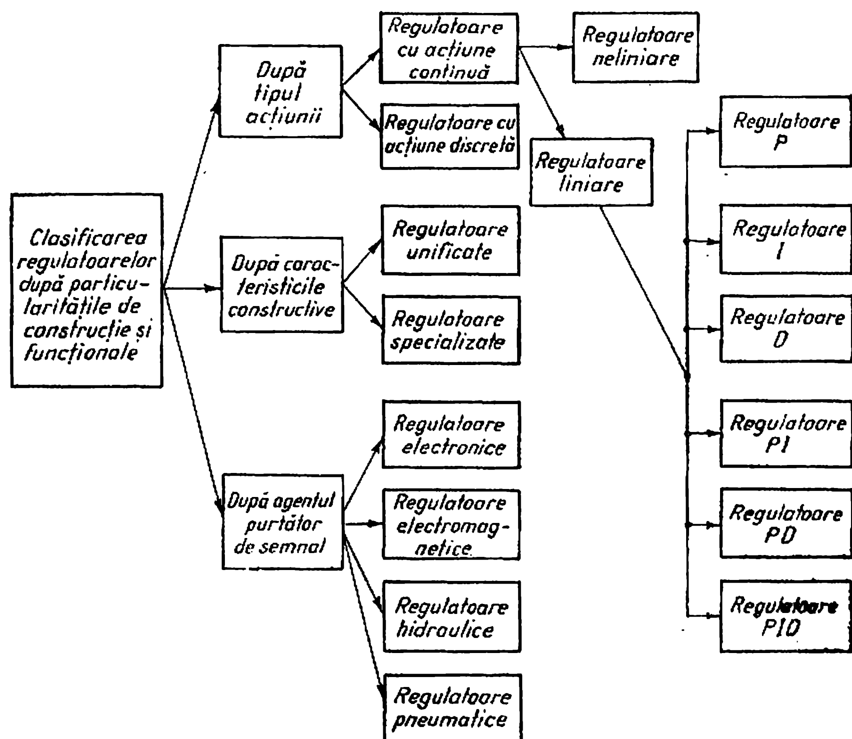


Fig. 14.2. Clasificarea regulatoarelor în funcție de particularitățile de construcție și funcționale.

Regulatoarele unificate se pot utiliza pentru reglarea a diferiți parametri (temperatură, presiune, debit etc.), iar cele specializate — numai pentru o anumită mărime, caracteristică pentru un proces dat.

● **După agentul purtător de semnal**, regulatoarele sînt de tip *electronic*, *electromagnetic*, *hidraulic* sau *pneumatic*.

Clasificarea regulatoarelor în funcție de particularitățile de construcție și funcționale este sintetizată în figura 14.2.

B. REGULATOARE CU ACȚIUNE CONTINUĂ

La aceste regulatoare, mărimea de comandă este influențată în mod continuu de mărimea reglată. De aceea, este în principiu posibil să se dea mărimii de execuție acea valoare care este necesară pentru menținerea constantă a valorii prescrise a mărimii reglate.

Un rol deosebit în aplicațiile industriale ale automatizării îl au *regulatoarele cu acțiune continuă liniare.*

Se numesc **regulatoare liniare** toate *regulatoarele cu acțiune continuă în care legea de reglare, adică dependența dintre $x_c(t)$ și $\varepsilon(t)$, are un caracter liniar.*

Din clasificarea prezentată în figura 14.2, rezultă că regulatoarele liniare sînt de șase tipuri: regulatoare cu acțiune proporțională, notate cu P; regulatoare cu acțiune integrală, notate cu I; regulatoare cu acțiune diferențială D;— regulatoare cu acțiunea proporțional-integrală — PI; regulatoare cu acțiune proporțional-diferențială — PD și regulatoare cu acțiune proporțional-integral-diferențială, notate PID.

1. REGULATOARE CU ACȚIUNE PROPORȚIONALĂ *(P)*

Aceste regulatoare stabilesc, între mărimea de intrare în regulator $\varepsilon(t)$ și cea de comandă $x_c(t)$ o relație de proporționalitate:

$$x_c(t) = K_R \cdot \varepsilon(t) \tag{14.3}$$

în care K_R este *factorul de amplificare al regulatorului.*

Astfel, în cazul în care mărimea de intrare este o funcție treaptă unitară (fig. 14.3, *a*) mărimea de ieșire va fi de asemenea o funcție treaptă (fig. 14.3, *b*), dar amplificată prin K_R. În realitate, mărimea de comandă nu poate urmări instantaneu variațiile mărimii de acționare, datorită inerției elementelor din cuprinsul regulatorului și, din această cauză, răspunsul real va fi ca cel indicat în figura 14.3, *b* cu linie întreruptă.

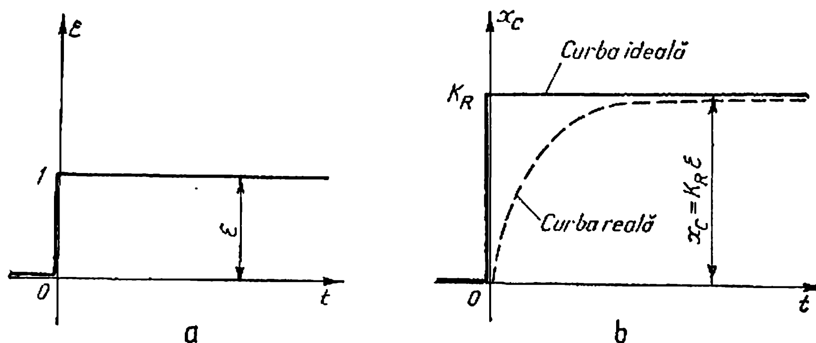


Fig. 14.3. Variația tip treaptă unitară aplicată la intrarea unui regulator automat (*a*) și variația obținută la ieșirea lui (*b*).

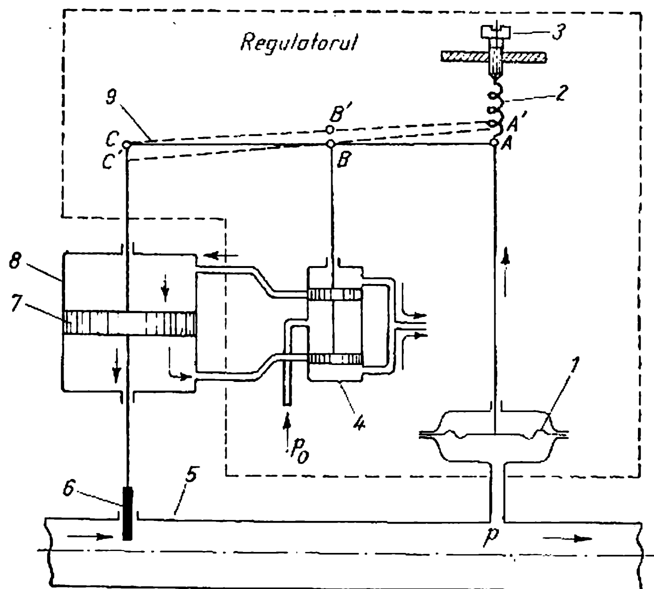


Fig. 14.4. Regulator P cu acțiune indirectă.

Uneori, în loc de factorul de amplificare K_R se folosește o altă constantă, denumită *banda de proporționalitate a regulatorului P*, care se notează cu BP. Cînd domeniul de variație al mărimii de acționare a regulatorului (abaterea ε) este egal cu domeniul de variație al mărimii de comandă, domeniul de proporționalitate se determină din relația:

$$BP = \frac{1}{K_R} 100 \, [\%]. \tag{14.4}$$

Regulatorul P cu acțiune indirectă.

În figura 14.4 este prezentată simplificat reglarea automată a presiunii unui fluid utilizînd un regulator de tip P cu acțiune indirectă (cu sursă de energie exterioară). În acest exemplu, parametrul ce se reglează este presiunea fluidului din conducta *5*.

● Ansamblul regulator-element de execuție conține următoarele **elemente**: *traductorul de reacție, elementul de prescriere, elementul de comparare, amplificatorul cu distribuitor, elementul de execuție.*

— *Traductorul de reacție* (elementul de măsurare) este format din membrana elastică *1* care convertește variațiile presiunii din conducta *5* în variații de deplasare liniară ale tijei fixate de membrană.

— *Elementul de prescriere 3* este elementul cu ajutorul căruia se fixează valoarea de consemn a presiunii din conductă. Prin intermediul resortului 2, elementul de prescriere deplasează punctul A al tijei ABC.

— *Elementul de comparare 9* este format din pîrghia ABC.

— *Amplificatorul cu distribuitor 4* folosește ca sursă de energie exterioară un fluid cu presiune p_0. Existența acestei amplificator este legată de necesitatea elaborării semnalului capabil să acționeze pistonul 7 al elementului de execuție.

— *Elementul de execuție* este format din cilindrul 8, pistonul 7 și clapeta de închidere 6.

● **Funcționare.** Se presupune că inițial presiunea din conductă se află la valoarea nominală p_n (denumită și *valoare de consemn*) și că la un moment dat *are loc o creștere a presiunii* $p(p > p_n)$. În aceste condiții, se produc următoarele modificări în funcționarea dispozitivului:

— membrana 1 se deformează sub acțiunea presiunii p și tija de legătură cu membrana se deplasează în sus, comprimînd resortul 2; ca urmare, punctul A se deplasează în A';

— elementul de comparare 9 își modifică poziția și se stabilește după linia $A'B'C'$, antrenînd și tija cu pistonașe a amplificatorului 4;

— orificiul de legătură dintre amplificatorul 4 și elementul de execuție 8, din partea de sus a amplificatorului, se deschide puțin (deschiderea este cu atît mai mare, cu cît abaterea lui p de la valoarea p_n a fost mai mare) și fluidul sub presiunea p_0 intră pe fața superioară a pistonului 7, împingîndu-l în jos;

— clapeta 6 obturează mai mult din secțiunea de trecere a fluidului din conducta 5 și presiunea p scade, tinzînd spre p_n; în această situație, elementul de comparare revine la poziția ABC.

În cazul în care presiunea p ar fi scăzut față de valoarea nominală, respectiv $p < p_n$, acțiunea regulatorului ar fi fost inversă tinzînd să ducă la creșterea lui p.

2. REGULATOARE CU ACȚIUNE INTEGRALĂ *(I)*

Denumirea de regulatoare cu acțiune integrală derivă de la dependența dintre mărimea de acționare (abaterea ε) și mărimea de comandă (x_c) pe care o realizează acest tip de regulatoare, și anume:

$$x_c(t) = K_I \int \varepsilon(t)\mathrm{d}t. \qquad (14.5)$$

Relația (14.5) arată că mărimea de comandă (de la ieșirea regulatorului) depinde de integrala abaterii ε. Constanta K_I, care este fixată

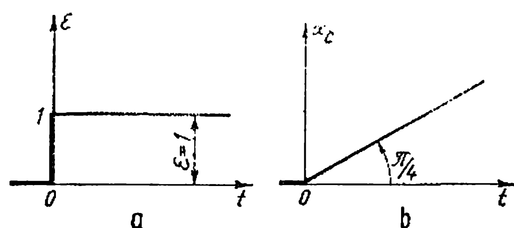


Fig. 14.5. Răspunsul unui regulator *I* la o intrare treaptă unitară.

prin construcţia regulatorului, se numeşte *factor de amplificare al regulatorului I*.

În loc de constanta K_I, se mai utilizează valoarea inversă a acesteia:

$$T_I = \frac{1}{K_I} \tag{14.6}$$

în care T_I se măsoară în unităţi de timp şi care se numeşte *constanta de timp de integrare*.

La acest tip de regulatoare, o abatere treaptă unitară creează ca răspuns o mărime de comandă de forma unei rampe (fig. 14.5) înclinată cu $\frac{\pi}{4}$.

Dacă se derivează ambii membri ai relaţiei (14.5) rezultă:

$$\frac{dx_c(t)}{dt} = K_I \varepsilon(t) \tag{14.7}$$

Rezultă că la regulatoarele *I* viteza de variaţie a mărimii de comandă $\frac{dx_c(t)}{dt}$ este proporţională cu abaterea (în cazul prezentat în figura 14.5, ea este constantă).

3. REGULATOARE CU ACŢIUNE DIFERENŢIALĂ *(D)*

Regulatoarele cu acţiune diferenţială realizează o lege de reglare în care mărimea de ieşire a regulatorului (sau mărimea de comandă) este proporţională cu derivata mărimii de intrare. Exprimarea matematică a legii de reglare a acestor regulatoare este:

$$x_c(t) = K_D \frac{d\varepsilon(t)}{dt}. \tag{14.8}$$

Astfel spus, mărimea de comandă este proporţională cu viteza de variaţie a erorii (sau abaterii).

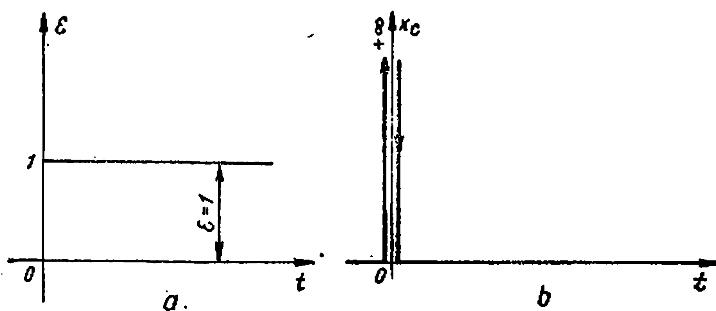


Fig. 14.6. Răspunsul regulatorului D la o intrare treaptă unitară.

În relația (14.8) coeficientul K_D depinde de construcția regulatorului și se numește *factor de amplificare al regulatorului D*.

Formele mărimilor de comandă ce se obțin în aceste regulatoare, ca răspuns la diferite tipuri de variație a abaterii, sînt arătate în figurile 14.6 și 14.7. În figura 14.6 se arată că pentru o abatere în treaptă unitară se obține impulsul unitar (Dirac) ca mărime de comandă. În figura 14.7 se arată că pentru o variație oarecare a abaterii, mărimea de comandă are practic forma unui impuls, deci se manifestă într-un interval de timp scurt.

Din figura 14.7 rezultă că la o modificare relativ monotonă a lui $\varepsilon(t)$, viteza de variație a abaterii ε crește mai repede decît abaterea, ceea ce face ca regulatorul D să acționeze mai rapid decît un regulator P.

○ **Concluzii.** Fiecare dintre cele trei tipuri de regulatoare descrise au unele deficiențe, care micșorează posibilitățile lor de utilizare.

Astfel, *regulatorul cu acțiune proporțională P* mențin în regim staționar o eroare a cărei valoare depinde de sarcină. Ele pot fi utilizate numai atunci cînd procesul reglat admite o asemenea eroare.

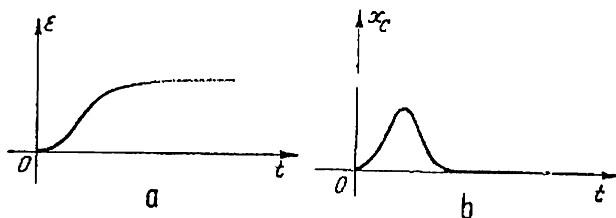


Fig. 14.7. Răspunsul regulatorului D la o variație la intrare de formă oarecare.

Regulatoarele cu acțiune integrală (I) micșorează stabilitatea sistemelor automate și necesită o durată mai mare a procesului de reglare (în comparație cu cele proporționale).

Regulatoarele D nu pot fi practic utilizate, deoarece ele oferă o mărime de comandă de durată insuficientă pentru a elimina abaterea apărută și, deci, nu pot realiza un regim staționar al reglării.

Aceste deficiențe au condus la apariția unor **regulatoare mixte** din punctul de vedere al modului de acționare, *rezultate din combinarea mai multor regulatoare cu acționare P, D sau I*, și anume:

— *regulatoare PI* (o combinație între un regulator proporțional și unul integral);

— *regulatoare PD* (o combinație între un regulator proporțional și unul diferențial);

— *regulatoare PID* (o combinație de regulatoare *P*, *I* și *D*).

C. REGULATOARE SPECIALIZATE ȘI REGULATOARE UNIFICATE

În figura 14.2 s-a arătat că din punctul de vedere al caracteristicilor constructive, regulatoarele se clasifică în regulatoare specializate și regulatoare unificate.

1. REGULATOARE SPECIALIZATE

În prima etapă de dezvoltare a automatizării instalațiilor și proceselor industriale s-au fabricat, în exclusivitate regulatoare specializate, destinate, proiectate și construite pentru un anumit tip de instalație tehnologică (sau proces).

Dar, în practică există o mare varietate de instalații și procese care se impun a fi automatizate, ceea ce ar implica proiectarea și producerea unei largi diversități de regulatoare și elemente de automatizare specializate. Aceasta ar conduce, pe de o parte, la executarea unor produse de serie mică, în loturi insuficient de avantajoase pentru întreprinderile producătoare de astfel de elemente de automatizare; pe de altă parte, ar necesita un consum mare de timp din momentul precizării cerințelor beneficiarului (tipul instalației sau procesului reglat, performanțele impuse regulatorului etc.) și pînă la executarea regulatorului comandat.

2. REGULATOARE UNIFICATE

Spre deosebire de instalațiile cu regulatoare specializate, cele cu elemente de automatizare unificate se caracterizează prin stabilirea și utilizarea unui semnal standard, atît ca natură, cît și ca nivel. Ele au fost

prevăzute nu numai cu regulatoare unificate, dar chiar cu elemente sau blocuri tip, cu semnale unificate, care îndeplinesc funcţiuni independente şi se caracterizează prin faptul că mărimile (semnalele) de intrare şi de ieşire ale fiecărui element sînt de aceeaşi natură fizică şi au aceleaşi limite ale gamei (domeniului) de variaţie.

Combinarea diferită a regulatoarelor şi elementelor de reglare unificate, cu structură funcţională şi constructivă modulară, permite folosirea sistemelor unificate la automatizarea unor instalaţii cu caracteristici tehnologice diferite.

● **După agentul purtător de semnal**, regulatoarele unificate se împart în *regulatoare unificate pneumatice*, *hidraulice* şi *electronice*.

În cazul **regulatoarelor unificate pneumatice**, semnalul unificat adoptat în general este presiunea de 0,2 ... 1 ats. (atmosfere suprapresiune). La această presiune redusă, debitul de aer de lucru consumat este mic, viteza de propagare a semnalului este maximă, iar pericolul de condensare a vaporilor de apă, ca urmare a variaţiilor de temperatură, este practic înlăturat. În ţară se produc elemente de automatizare pneumatice în fabrica de la Bîrlad.

În cazul **regulatoarelor unificate hidraulice** (cu ulei), datele publicate asupra mărimilor adoptate menţionează presiunea uleiului de 1,5 kg/cm^2 pentru alimentarea regulatorului cu variaţii ale presiunii de comandă a uleiului între limitele 0,2 ... 1,1 kg/cm^2.

În cazul **regulatoarelor unificate electronice**, semnalul unificat adoptat de majoritatea întreprinderilor constructoare de echipamente de automatizare este o mărime electrică (tensiune sau curent) continuă.

○ **Observaţia 1.** Nu se foloseşte un semnal electric alternativ, deoarece acesta ar implica o serie de dificultăţi legate de influenţa impedanţei circuitelor electrice, de defazajele produse, de necesitatea folosirii unor cabluri speciale etc.

○ **Observaţia 2.** Instalaţiile sau procesele tehnologice reglate pot avea constante de timp diferite. Astfel, unele dintre ele se caracterizează prin constante de timp mari (reglarea temperaturii, reglarea debitului, nivelului, presiunii şi concentraţiei la cazanele de abur etc.), pe cînd altele, dimpotrivă, prin constante de timp reduse (reglări de viteză, poziţie, reglarea tensiunii de excitaţie a generatoarelor electrice, reglarea turaţiei motoarelor etc.). Primele se numesc *procese lente*, celelalte — *procese rapide*. În cadrul proceselor rapide, un loc important îl ocupă instalaţiile de curenţi tari de tipul echipamentelor electroenergetice şi al acţionărilor electrice. Regulatoarele unificate vor avea deci caracteristici tehnice şi constructive diferite, în funcţie de procesul reglat, deoarece realizarea constantelor de timp diferă de la un caz la altul.

• În funcție de gama de variație a semnalului unificat electric (limitele domeniului de variație), se întîlnesc două variante de regulatoare unificate:

— *cu nivel minim zero*;

— *cu nivel minim diferit de zero.*

În țara noastră au fost adoptate: varianta cu semnal de nivel minim zero pentru *sistemul electronic unificat UNIDIN*, destinat reglării proceselor rapide (semnalul unificat fiind o tensiune continuă de +10V, cu gama de variație 0 ... 10 V) și varianta cu semnal minim diferit de zero, pentru *sistemul electronic unificat ε — line*, produs de Întreprinderea de Elemente de Automatizare București, destinat reglării proceselor lente (semnalul unificat fiind un curent continuu, cu gama de variație 2 ... 10 mA).

În figura 14.8 sînt reprezentate elementele componente ale **sistemului unificat electronic UNIDIN** fabricat în țară, destinat reglării proceselor rapide.

Sistemul UNIDIN poate asigura reglarea diferiților parametri: poziție, viteză, accelerație, curent, tensiune, curent de excitație etc.

Semnalul unificat este tensiunea continuă de ±10 V (cu o rezervă pînă la ±12 V). Semnalul de intrare poate fi adaptat la valoarea dorită cu ajutorul unor rezistențe reglabile. Acționarea dorită în regim dinamic (de tip *P*, *PD*, *PI* sau *PID*) se obține prin aplicarea unei reacții *RC* adecvate amplificatorului de bază, care este un amplificator operațional tranzistorizat. Sistemul este prevăzut cu surse de tensiune stabilizate, este în întregime tranzistorizat și are circuite imprimate.

Regulatorul electronic unificat UNIDIN este un regulator tranzistorizat, folosit în reglarea proceselor rapide, de tipul acționărilor electrice. Legea de reglare este stabilită de circuitele de corecție care se aplică amplificatorului. În cazul în care este necesară o putere de ieșire mică, regulatorul este cu acțiune continuă; pentru puteri de ieșire mai mari el este de tip basculant.

Regulatorul UNIDIN poate realiza reglări de tipul *PI*, *PD* și *PID*.

D. ALEGEREA ȘI ACORDAREA REGULATOARELOR

1. PARAMETRII CARE INTERVIN LA ALEGEREA ȘI ACORDAREA REGULATORULUI

Se consideră că într-o instalație tehnologică se desfășoară un anumit proces care trebuie automatizat și urmează să fie ales regulatorul.

Pentru alegerea regulatorului se procedează astfel:

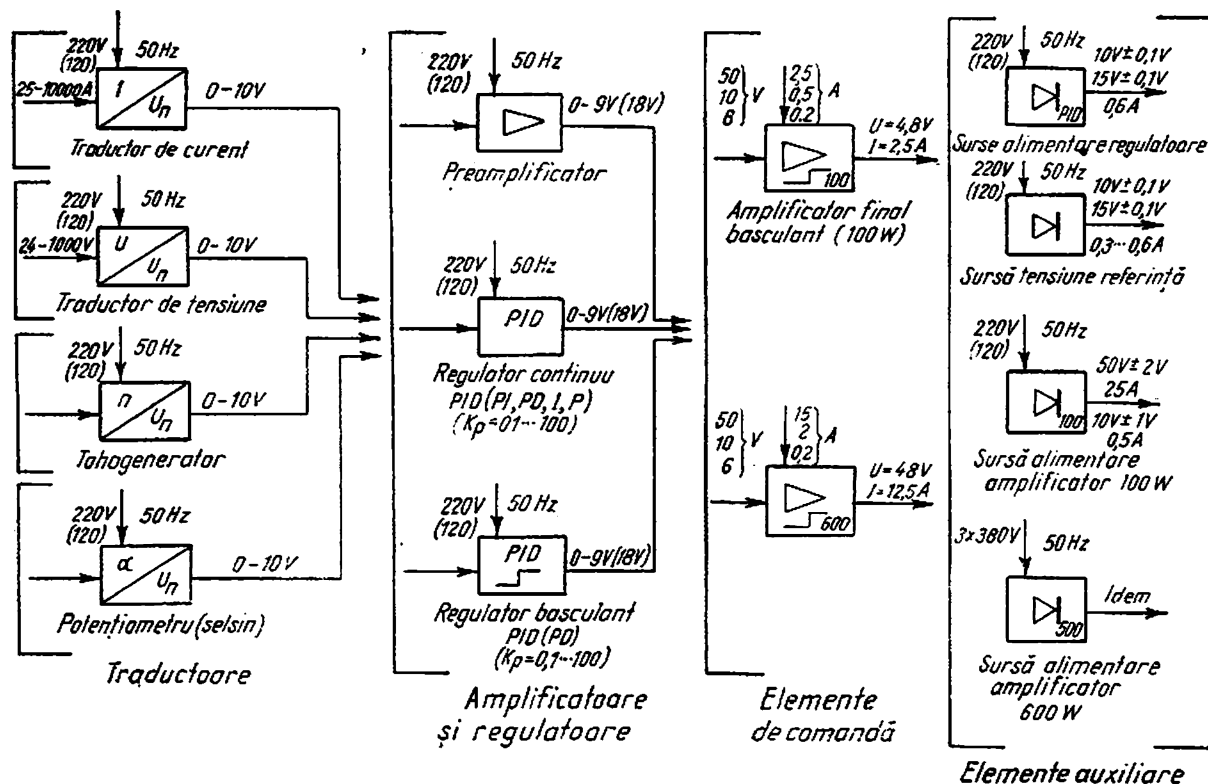


Fig. 14.8. Elementele componente ale sistemului unificat electronic „UNIDIN“

— se stabileşte care tip dintre regulatoarele (specializate sau unificate) *P*, *I*, *PI*, *PD* sau *PID* este mai indicat pentru instalaţia respectivă;

— se determină parametrii regulatorului ales.

Deoarece parametrii regulatorului ales se pot afla în game mai largi de valori decît cele necesare la reglarea instalaţiei date, este obligatorie operaţia de acordare a regulatorului în funcţie de caracteristicile instalaţiei tehnologice. Aceasta constă în ajustarea parametrilor unui regulator astfel ca aceştia să corespundă cerinţelor concrete ale instalaţiei date. Dacă această ajustare are în vedere o comportare a procesului reglat care să fie optimă în funcţie de un anumit criteriu (de exemplu, durata minimă a procesului tranzitoriu, abaterea minimă, influenţa minimă a perturbaţiilor externe etc.), ea se numeşte acordare optimă a regulatorului.

La studierea diferitelor tipuri de regulatoare a fost stabilit că în cazul unui regulator de tip *P* principalul parametru este factorul de amplificare K_R (sau banda de proporţionalitate *BP*), la un regulator tip *D* constanta de timp derivativă T_D, iar la un regulator de tip *I*, parametrul caracteristic este constanta de timp de integrare T_I. Pentru celelalte tipuri de regulatoare interesează valorile aceloraşi parametri (de exemplu, la un regulator *PI* parametrii caracteristici sînt K_R şi T_I, la un regulator *PD* — K_R şi T_D iar la un regulator *PID* — K_R, T_I şi T_D).

2. ALEGEREA TIPULUI DE REGULATOR

Pentru alegerea tipului de regulator este necesar să se cunoască complet caracteristicile procesului tehnologic ce se desfăşoară în instalaţia reglată. În practică, de cele mai multe ori aceste caracteristici se ridică experimental. În acest scop se aplică la intrarea instalaţiei tehnologice o variaţie în treaptă şi se măsoară continuu mărimea de ieşire x_e.

Funcţia $x_e(t)$ ridicată experimental, denumită şi *răspunsul real*, se foloseşte pentru alegerea tipului de regulator. Se presupune — pentru precizarea noţiunii — că această funcţie are forma arătată în figura 14.9.

Se duce în punctul de inflexiune *I* tangenta şi se notează punctele *A* şi *B*. Din *B* se coboară o perpendiculară pe axa absciselor şi se obţine punctul *C*. Pe abscisă se formează astfel două segmente:

— segmentul *OA* — notat cu T_m — defineşte un timp mort fictiv al instalaţiei tehnologice (în sensul întîrzierii răspunsului);

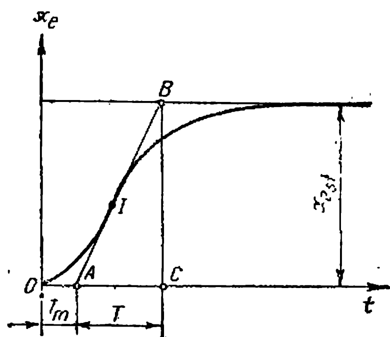


Fig. 14.9. Aproximarea răspunsului real cu un răspuns fictiv.

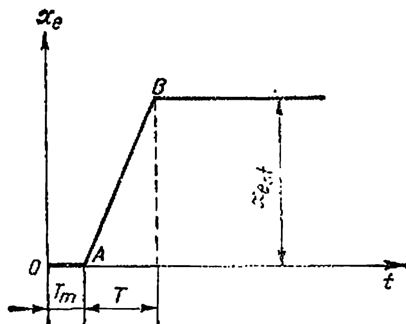


Fig. 14.10. Răspunsul fictiv al instalației tehnologice reglate.

— segmentul AC, notat cu T — reprezintă constanta de timp fictivă.

Caracteristica reală din figura 14.9 poate fi aproximată, prin liniarizare, cu o caracteristică fictivă ca cea reprezentată în figura 14.10.

În funcție de valoarea raportului $\frac{T_m}{T}$ se poate alege orientativ tipul de regulator, așa cum se arată în tabelul 14.1.

Tabelul 14.1.

Alegerea regulatorului în funcție de T_m/T

Raportul $\frac{T_m}{T}$	Tipul de regulator care se recomandă a fi utilizat
Pînă la 0,2	Regulator bipozițional
Pînă la 1,0	Regulator avînd elemente *P*, *I* și *D*
Peste 1,0	Regulatoare cu caracteristici speciale sau „sisteme de reglare complexă" cu regulatoare avînd elemente multiple *P*, *I* și *D*

De reținut: alegerea regulatorului se face, de cele mai multe ori, pe baza recomandărilor rezultate din experiența practică. La determinarea cerințelor privitoare la calitatea reglării și la alegerea tipului de regulator (deci și a celorlalte elemente de automatizare) trebuie să se țină cont și de eficacitatea economică a realizării și instalării unui sistem complex de reglare automată.

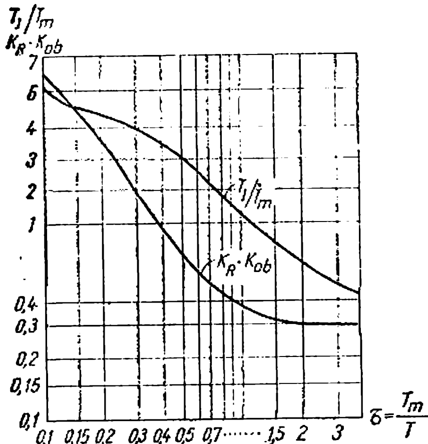


Fig. 14.11. Acordurile optime ale regulatorului PI (proces aperiodic).

3. Acordarea optimă a regulatoarelor

Acordarea optimă a unui regulator se face pe baza unui criteriu dinainte stabilit şi se realizează la regulatoarele tip *P*, *PI*, *PD* şi *PID*. În urma operaţiei de acordare, parametrii regulatorului (K_R, T_D, T_I) se ajustează la acele valori care conduc la performanţele dorite în regim staţionar şi dinamic de funcţionare.

Acordarea regulatoarelor se face *prin calcul* (cu ajutorul unor criterii şi relaţii matematice care vizează obţinerea unui proces tranzitoriu cît mai scurt şi mai bine amortizat), sau pe *cale grafică*, (cu ajutorul unor curbe experimentale). Astfel, valorile optime ale parametrilor regulatorului ($K_R \cdot T_I$ şi T_D) se pot determina după curbe predeterminate pe baza unor experienţe. În figura 14.11 se prezintă — spre exemplificare — graficul pentru acordurile optimale ale unui regulator *PI*, în cazul unui proces aperiodic în funcţie de raportul $\sigma = \frac{T_m}{T}$ luat în abscisă.

S-au notat în ordonată mărimile $\left(\frac{T_I}{T_m}\right)$ şi $K_R \cdot K_{ob}$, unde K_R este factorul de amplificare al regulatorului şi K_{ob} — factorul de amplificare al obiectului reglat (instalaţia tehnologică sau procesul reglat).

REZUMAT

Regulatorul este acel element de automatizare, la intrarea căruia se aplică eroarea (abaterea ε) şi la a cărui ieşire rezultă mărimea de comandă x_c.

Regulatoarele *se clasifică*:

— *în funcţie de sursa de energie:*

REGULATOARE ⌈– DIRECTE
⌊– INDIRECTE

în funcţie de viteza de răspuns:

REGULATOARE PENTRU PROCESE ⌈– RAPIDE
⌊– LENTE

— *în funcţie de particularităţile funcţionale:*

REGULATOARE CU ACŢIUNE
- CONTINUĂ
  - LINIARE
  - NELINIARE
- DISCONTINUĂ (DISCRETĂ)

— *în funcţie de caracteristicile constructive:*

REGULATOARE
- UNIFICATE
- SPECIALIZATE

— *în funcţie de agentul purtător de semnal:*

REGULATOARE
- ELECTRONICE
- ELECTROMAGNETICE
- HIDRAULICE
- PNEUMATICE

Acordarea regulatoarelor reprezintă ajustarea parametrilor regulatorului la acele valori care conduc la performanţele dorite în regim staţionar şi dinamic. Pentru acordarea regulatoarelor se folosesc relaţii de calcul (criterii de acordare) sau grafice de acordare optimă.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. Ce elemente intră în componenţa unui regulator:
   a) elemente de prescriere, elementul de execuţie şi traductorul de reacţie?
   b) elementul de prescriere, comparatorul diferenţial şi amplificatorul?
   c) amplificatorul, elementul de reacţie şi elementul de comparare?

2. Ce sînt regulatoarele cu acţiune proporţională (P):
   a) regulatoarele la care mărimea de acţionare de la ieşirea regulatorului (sau mărime de comandă) $x_c(t)$ este proporţională cu mărimea de intrare în regulator $\varepsilon(t)$?
   b) regulatoarele la care mărimea de comandă $x_c(t)$ este egală cu eroarea $\varepsilon(t)$?
   c) regulatoarele la care mărimea de comandă $x_c(t)$ variază proporţional cu derivata mărimii de intrare $\frac{d\varepsilon(t)}{dt}$?

3. Urmăriţi figura 14.4. Răspundeţi: care este elementul de prescriere şi cum se modifică valoarea de consemn a presiunii din conductă:
   a) clapeta 6; prin deplasarea clapetei *6* în interiorul conductei *5*?
   b) membrana elastică *1*; prin deplasarea pîrghiei *ABC*?
   c) şurubul *3*; prin intermediul şurubului *3* şi al resortului *2* se deplasează punctul *A* al tijei *ABC*?

4. Care sînt principalii parametri care intervin la alegerea şi acordarea regulatorului:

a) consemnul, durata regimului tranzitoriu şi banda de proporţionalitate BP?

b) factorul de amplificare K_R (sau banda de proporţionalitate BP) şi constantele de timp (de derivare T_D şi de integrare T_I)?

c) inerţia regulatorului, consumul de putere şi preţul de cost?

5. La o instalaţie industrială în care urmează a se introduce un regulator de proces s-a determinat experimental răspunsul fictiv şi s-a găsit raportul $\rho = \frac{T_m}{T} = 0{,}182$. Folosind tabelul 14.1, răspundeţi ce tip de regulator se recomandă a fi utilizat:

a) un regulator unificat PID?

b) un regulator bipoziţional?

c) un regulator tripoziţional?

CAPITOLUL 15

SISTEME DE MĂSURARE ŞI CONTROL AUTOMAT

A. NOŢIUNI GENERALE

Sistemele de măsurare automată sînt foarte variate, complexitatea lor fiind în funcţie de mărimea de măsurare, de precizia măsurării etc.; pot fi totuşi împărţite în două grupe mari, şi anume:

— *sisteme de măsurare automată neechilibrate (necompensate)*;

— *sisteme de măsurare automată echilibrate (compensate)*.

● **Sistemele neechilibrate** corespund unor sisteme cu circuit deschis (fig. 15.1, *a*): mărimea de măsurat *M* este preluată de traductorul *T*, amplificată (eventual) de amplificatorul *A* şi aplicată elementului de „prezentare" (reproducere) *R* a mărimii respective. În această categorie intră toate sistemele de măsurare care au rezultat principial din cadrul cap. 11 (Traductoare).

Sistemele neechilibrate pot fi:

— *în lanţ*;

— *în punte dezechilibrată*.

Aceste sisteme sînt cele mai răspîndite, avînd o construcţie simplă.

● **Sistemele echilibrate** sînt analoge sistemelor de reglare automată avînd un circuit închis (fig. 15.1, *b*).

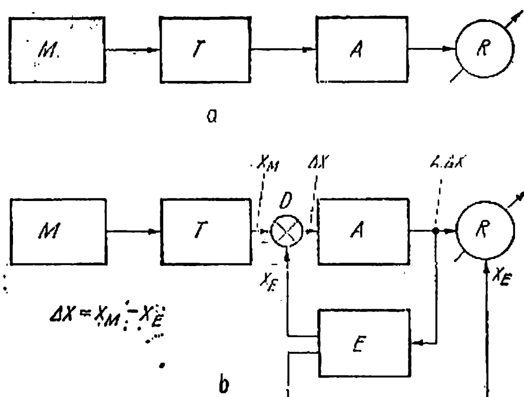


Fig. 15.1. Schemele bloc ale sistemelor de măsurare automată:
a — sisteme neechilibrate; *b* — sisteme echilibrate.

După felul mărimii echilibrate, sistemele de măsurare respective se împart în:

— *compensatoare automate*, la care se echilibrează tensiunea de ieşire a traductorului (implică traductoare generatoare) cu o tensiune dată de un potenţiometru avînd cursorul comandat. Uneori se pot echilibra şi alte mărimi ca, de exemplu: cupluri mecanice, fluxuri luminoase sau magnetice etc.;

— *punţi automate*, la care se echilibrează rezistenţa sau reactanţa de ieşire a traductorului (implică traductoare parametrice), prin echilibrarea automată a braţelor unei punţi Wheatstone.

Compensatoarele şi punţile automate sînt denumite în general *potenţiometre automate*.

B. PREZENTAREA VALORII MĂRIMILOR MĂSURATE

Spre deosebire de măsurarea manuală, prin care omul aplică mărimea de măsurat direct unui aparat (de exemplu, măsoară temperatura unui cuptor cu ajutorul unui termometru etc.), măsurarea automată necesită o serie de elemente de automatizare (de exemplu, un traductor de temperatură — un termocuplu — un amplificator de tensiune, un stabilizator pentru menţinerea constantă a tensiunii sursei de alimentare etc.), precum şi o legare corespunzătoare a acestor elemente (circuite, punţi de măsurare etc.). Mărimea de măsurat suferind astfel o serie de transformări intermediare, poate fi pusă în evidenţă (afişată) fie cu un aparat electric indicator (de exemplu un miliampermetru cu ac indicator), fie cu ajutorul unui aparat înregistrator (care înscrie o diagramă pe hîrtie).

Uneori, mărimile măsurate pot fi înregistrate pe benzi perforate sau pe benzi magnetice, în scopul introducerii lor într-un calculator electronic (v. cap. 20).

Se observă că, faţă de măsurarea neautomată, care nu asigură decît citirea unei mărimi la faţa locului, măsurarea automată permite transformarea şi transmiterea la distanţă a acestei mărimi, precum şi folosirea ei în scopul conducerii unui proces tehnologic fără intervenţia omului.

Elementul de bază într-un sistem de măsurare automată este traductorul (v. cap. 11).

După cum s-a mai arătat, controlul automat este o operaţie mai complexă, în care măsurarea diverşilor parametri ai unei instalaţii constituie doar mijlocul de informare în legătură cu funcţionarea acesteia (normală sau nu).

În final, controlul automat este concretizat fie printr-o semnalizare, fie printr-o comandă.

Semnalizarea poate fi optică — de exemplu lampa verde aprinsă (starea 0) și lampa roșie aprinsă (starea 1) — sau acustică, cu ajutorul unei sonerii sau al unui claxon (hupă) care nu sună (starea 0) sau sună (starea 1).

Deoarece, așa cum s-a arătat, controlul automat are în vedere numai una sau două valori ale unei mărimi date, elementele cele mai des folosite pentru măsurarea valorilor respective sînt releele (v. cap. 12).

1. AFIȘAREA

Cel mai simplu mod de prezentare a datelor măsurate este afișarea (indicarea) acestora cu ajutorul unor aparate indicatoare. În figura 15.1, *a* receptorul *R* reprezintă aparatul indicator respectiv.

● **Afișarea continuă** sau **analogică** se realizează cu ajutorul aparatelor cu ac indicator, ca de exemplu microampermetre sau milivoltmetre, care — așa cum s-a arătat la capitolul 11 (Traductoare) — au scara gradată (etalonată) direct în unități ale mărimii măsurate*.

● **Afișarea discontinuă** sau **numerică** se face în prezent în „cod numeric zecimal", adică în cifre de la 0 la 9.

Valoarea mărimii măsurate obținute de la traductor prin amplificator este transformată în „cod zecimal" cu ajutorul unui convertor analog-numeric. În acest caz, receptorul *R* din figura 15.1, *a* este un „codificator" care transformă mărimea continuă (analogică), într-un cod de impulsuri (mărime numerică). Impulsurile respective sînt aplicate unor aparate speciale de afișare numerică (de exemplu, indicatorul cu cifre al contoarelor pentru consumul de energie electrică).

Afișarea din elemente combinate (fig. 15.2) folosește un număr de șapte segmente de dreaptă, luminoase, fiecare cifră rezultînd din combinarea unui număr adecvat de elemente (elementele înnegrite se consideră a fi aprinse). Dezavantajul procedeului constă în necesitatea folosirii unor codificatoare care să convertească fiecare cifră în combinația necesară de segmente.

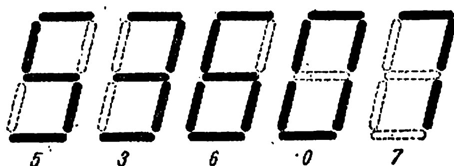


Fig. 15.2. Afișarea numerică din elemente combinate.

Ca exemplu, în figura 15.2 se prezintă un asemenea codificator realizat dintr-o „matrice cu diode" similară unui distribuitor cu se-

* Tipurile de aparate indicatoare folosite în sistemele unificate vor fi prezentate în paragraful C.

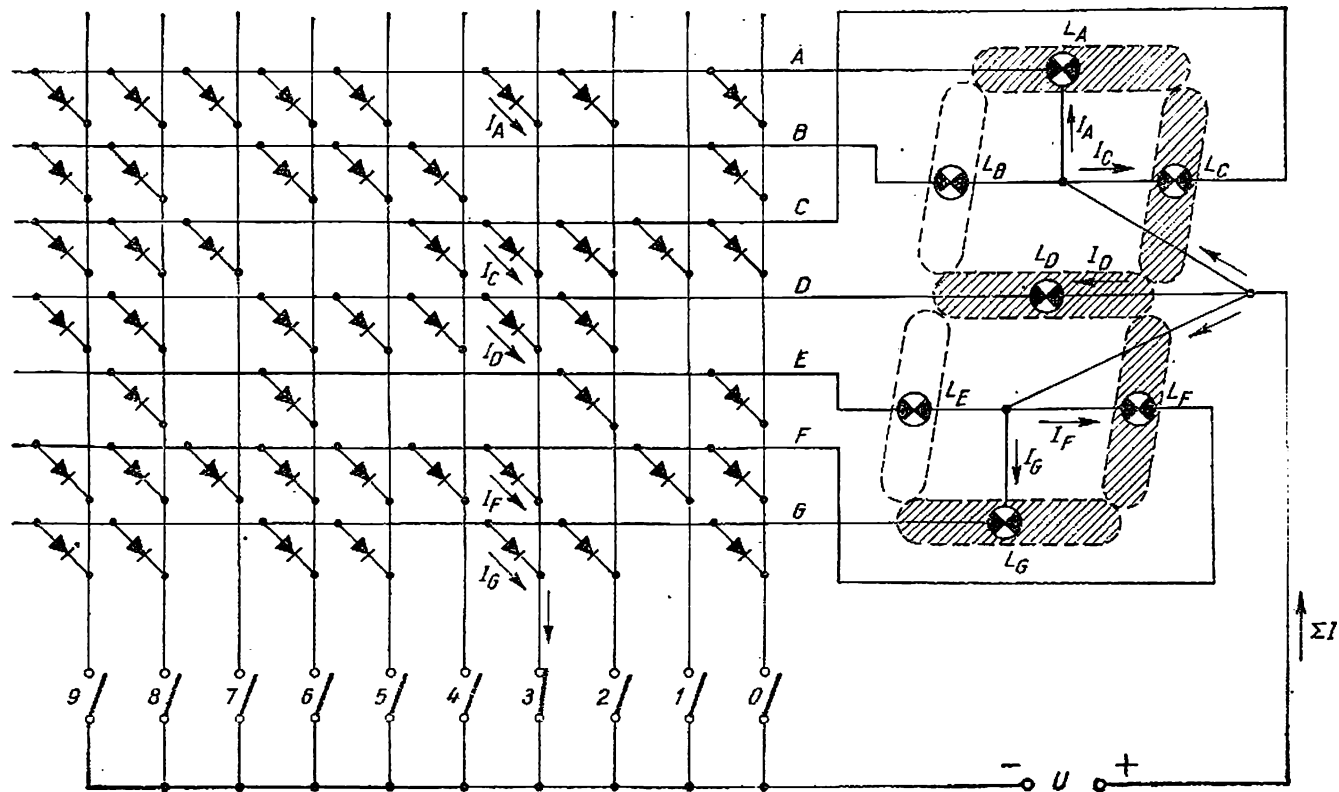


Fig. 15.3. Codificator matricial cu diode.

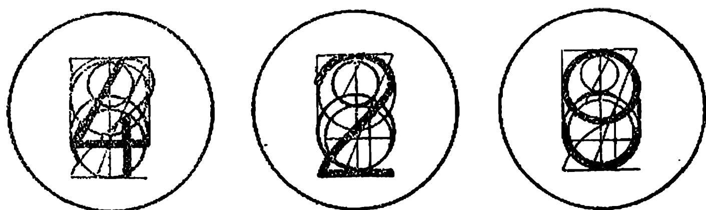


Fig. 15.4. Afişare suprapusă cu tuburi NIXIE.

miconductoare. Din figura 15.3 se observă modul de circulaţie al curenţilor care asigură aprinderea numai a lămpilor aferente segmentelor pentru cifra *3* (lămpile L_A, L_C, L_D, L_E şi L_F) atunci cînd se închide contactul *3*.

Afişarea suprapusă este o metodă modernă utilizată în măsurarea numerică. Cifrele sînt suprapuse, dar fiecare permite vizibilitatea cifrelor din spate.

În figura 15.4 este prezentată o variantă a acestui procedeu, realizată cu tuburi electronice cu neon avînd un anod şi zece catozi. Catozii sînt realizaţi din sîrmă îndoită în formă de cifră şi prin aplicarea tensiunii între anod şi unul din catozi, sîrma (cifra) respectivă apare luminoasă. Aceste tipuri de tuburi electronice de afişare numerică sînt cunoscute şi sub denumirea comercială de *tuburi NIXIE.*

2. ÎNREGISTRAREA

Datele măsurate pot fi prezentate prin înregistrarea lor pe benzi de hîrtie. În acest caz, receptorul *R* din figura 15.1 este un aparat înregistrator.

● **Înregistrarea continuă.** Aparatele cu înregistrare continuă sînt construite *cu diagramă rulantă* sau *cu diagramă circulară.*

Înregistratoarele cu diagramă rulantă funcţionează pe principiul aparatelor electrice obişnuite (ampermetre, voltmetre etc.) sau mai frecvent pe principiul sistemelor de măsurare închise (compensatoare automate) — avînd însă acul indicator prevăzut cu peniţă. În faţa peniţei, perpendicular pe direcţia de mişcare a acesteia, se deplasează cu viteză constantă o bandă (diagramă) de hîrtie pe care se înregistrează variaţia în timp a mărimii măsurate (v. fig. 15.7).

Banda de hîrtie se deplasează cu viteză constantă (de exemplu 20 mm/ /oră) antrenată de un mecanism de ceasornic, deci pe verticală este marcat timpul, iar deplasarea orizontală a peniţei (care are în acelaşi timp şi un ac indicator) marchează valorile mărimilor de măsurat.

Înregistratoarele cu diagramă rotativă folosesc o hîrtie de formă circulară plasată pe un disc care se rotește, penița, cu acul indicator al aparatului de măsurat deplasîndu-se pe raze curbilinii de la centru spre periferie.

Diagrama circulară (fig. 15.5) se schimbă la o rotație completă, de obicei la fiecare 24 ore. Penița cu cerneală purtată de acul indicator al aparatului se deplasează de-a lungul razelor (de exemplu, de-a lungul indicațiilor 10, 20 ... 100%), ceea ce la rotirea diagramei are ca efect obținerea unei curbe continue, practic închisă.

Aparatele cu înregistrare continuă dau erori mari de măsurare datorită consumului mare de putere provocat de frecarea peniței pe hîrtie.

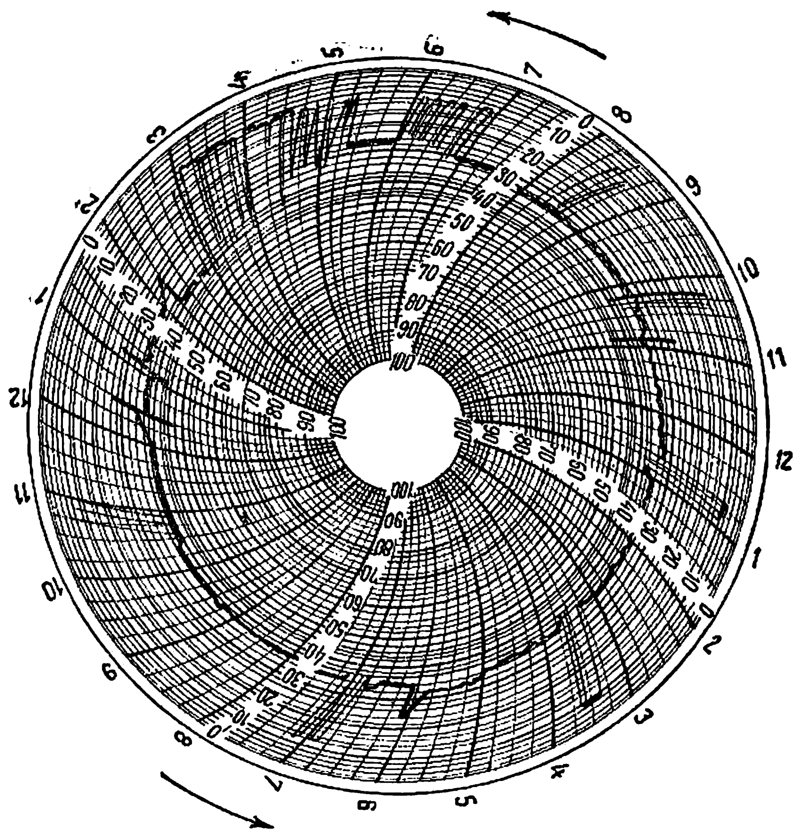


Fig. 15.5. Diagrama circulară de hîrtie.

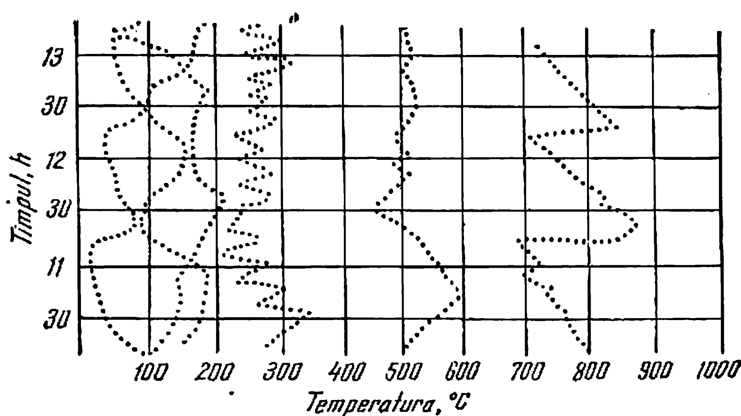


Fig. 15.6. Diagrama liniară de înregistrare prin puncte.

● **Înregistrarea discontinuă (prin puncte)** se aplică la înregistrarea mărimilor din proces numite „lente" (de exemplu, variația temperaturii unui cuptor), la care nu există variații bruște între două valori succesive înregistrare.

În figura 15.6 este prezentată ca exemplu o diagramă liniară de înregistrare a șase mărimi (șase piste), fiecare mărime fiind înregistrată cu altă culoare.

3. INTEGRARE

O formă de prezentare a unor mărimi măsurate este integrarea, adică însumarea pe un timp oarecare, de exemplu o oră, a mărimii respective. De exemplu, dacă se integrează (însumează) în timp o putere electrică (kW), se obține energia totală consumată în acel timp (kWh), sau dacă se integrează în timp debitul (m^3/s) de deplasare a unui lichid într-o conductă, se obține cantitatea totală scursă prin conductă în timpul considerat.

Sistemele de integrare sînt realizate de obicei cu circuite electrice „de integrare" a mărimilor măsurate, iar impulsurile obținute prin convertoarele analogo-numerice sînt aplicate unor circuite de măsurare cu tranzistoare formate prin înserierea unui număr de triggere. Afișarea mărimilor obținute se face de obicei tot pe cale electronică (tuburi Nixie).

C. APARATE ELECTRONICE DE MĂSURARE ÎN SISTEMUL E (IEA)

În ţara noastră se realizează o gamă variată de aparate indicatoare, înregistratoare şi cu funcţii multiple aparţinînd sistemului E (neunificat sau unificat).

Toate aparatele indicatoare (analogice), precum şi cele înregistratoare* (şi indicatoare) din sistemul „E" IEA funcţionează, practic, pe baza aceluiaşi principiu, şi anume al sistemelor de măsurare echilibrate, în speţă compensatoare automate.

● **Observaţie.** Întrucît toate traductoarele, inclusiv cele parametrice, posedă adaptoare care asigură la ieşire un semnal (unificat) de curent (tensiune), sistemul „E" foloseşte în exclusivitate compensatoare automate.

1. APARATE ÎNREGISTRATOARE TIP E

Schema de principiu a înregistratoarelor (indicatoare) din sistemul E este prezentată în figura 15.7.

Mărimea de intrare — semnalul unificat de curent 2—10 mA — este aplicată pe rezistenţa $R_0 (R_0 = 200\ \Omega)$, producînd un semnal unificat de tensiune U_i $(2 \cdot 10^{-3} \times 200 \ldots 10 \cdot 10^{-3} \times 200 = 0{,}4 \ldots 2\ \text{V})$. Pe de altă parte, potenţiometrul R alimentat cu un curent constant ($i = 5$ mA) de la un stabilizator de curent (tip II51) asigură o tensiune de „compensare" U_R opusă tensiunii U_i, astfel că în funcţionare va rezulta o tensiune de abatere (eroare) ΔU dată de diferenţa celor două tensiuni:

$$\Delta U = U_i - U_R. \tag{15.1}$$

În regim staţionar, abaterea este nulă ($\Delta U = 0$), motorul MR stă pe loc şi potenţiometrul R se află într-o poziţie care asigură compensarea:

$$U_i = U_R. \tag{15.2}$$

În acelaşi timp, acul indicator afişează pe o scară gradată (0,4—2,4 V) valoarea mărimii de intrare U_i şi, bineînţeles, peniţa solidară cu cursorul şi cu acul indicator rămîne pe loc, trasînd aceeaşi valoare.

Cînd mărimea de intrare variază într-un anumit sens (de exemplu creşte), abaterea ΔU capătă o anumită polaritate (de exemplu, pozitivă). Amplificatorul de curent continuu cu modulare — amplificare — demodulare (*MAD*) prezentat în capitolul 12 — figura 12.5, va furniza la ieşire o mărime amplificată însă de aceeaşi polaritate. Se observă că

* Toate aparatele înregistratoare sînt şi indicatoare, avînd o scară gradată liniară, iar acul indicator fiind solidar cu cursorul potenţiometrului de compensare.

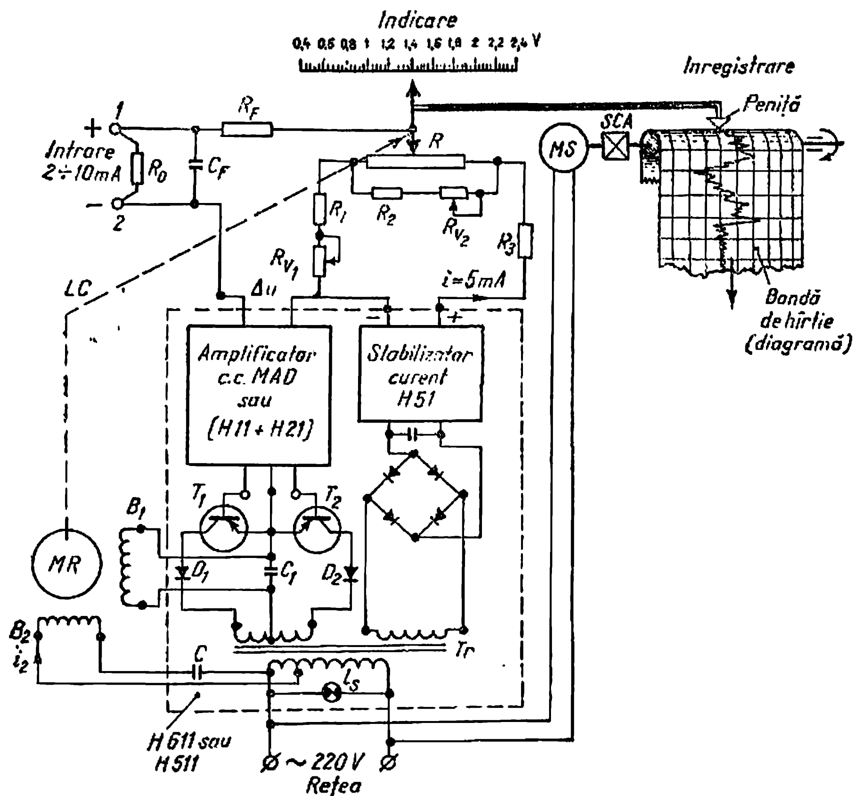


Fig. 15.7. Schema de principiu a indicatoarelor (înregistratoarelor din sistemul E).

pentru fiecare polaritate va conduce numai un tranzistor (de exemplu T_1) — cel cu joncțiunea emitor-bază polarizată direct — și va fi blocat celălalt (de exemplu T_2) — cu joncțiunea emitor-bază polarizată invers.

Ca urmare, în această situație va funcționa o singură diodă (de exemplu D_1), asigurînd pe bobina B_1 (de excitare a motorului MR) o tensiune (curent) pulsatorie formată numai din semialternanțele de o anumită polaritate (de exemplu pulsurile pozitive), obținute de la rețea (~ 220 V) prin transformatorul de alimentare Tr.

Întrucît bobina de excitație B_2 primește permanent aceeași tensiune*, motorul bifazat MR se va roti într-un anumit sens (de exemplu

* Curentul i_2 este decalat cu 90° cu ajutorul capacității C, pentru ca motorul să poată căpăta un cîmp bifazat (învîrtitor).

pozitiv), antrenînd prin legătura cinematică *LC* deplasarea cursorului potențiometrului *R* și a acului indicator pînă la echilibrarea (compensarea) tensiunii de intrare ($\Delta U = 0$), situație în care motorul se oprește.

Cînd mărimea de intrare capătă o variație de sens contrar, semnalul de dezechilibru ΔU își va modifica polaritatea (de exemplu U_i scade $\Rightarrow$ ΔU, negativ, $\Rightarrow$ blocat T_1, conduce $T_2 \Rightarrow$ funcționează (redresează) $D_2 \Rightarrow$ $\Rightarrow$ bobina B_1 primește pulsuri negative).

Motorul *MR* se va roti deci în sens contrar față de situația precedentă, pînă ce $\Delta U = 0$ (echilibrare), indicînd pe scară o nouă valoare pentru U_i.

Ansamblul format din tranzistoarele T_1 și T_2, diodele D_1 și D_2, și transformatorul *Tr* constituie împreună cu amplificatorul de curent continuu *MAD* un „amplificator sensibil la fază", adică la polaritatea mărimii de la intrare.

Banda de hîrtie aferentă părții de înregistrare este antrenată cu o viteză de 20 mm/oră cu ajutorul unui motor sincron *MS* racordat la rețeaua de 220 V c.a. și prin intermediul unui sistem cinematic de antrenare *SCA*.

Amplificatorul de curent continuu folosit diferă de la un tip de curent la altul, în funcție de semnalul de intrare folosit.

Constructiv, aparatele înregistratoare se realizează în următoarele variante:

— *normal* (fig. 15.8), cu lățimea scării și a diagramei de 250 mm și cu viteza de deplasare a diagramei reglabilă la 20, 60 sau 120 mm/h;

— *miniaturizat* (fig. 15.9), cu lățimea diagramei de 120 mm și cu viteza de deplasare a diagramei de 20 mm/h.

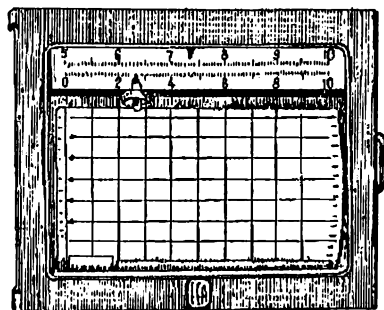


Fig. 15.8. Aparat electronic înregistrator format normal.

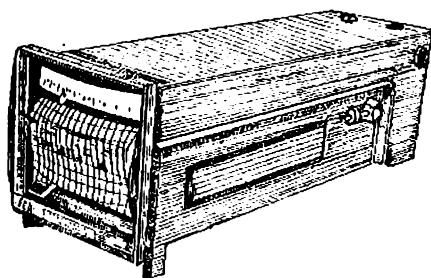


Fig. 15.9. Aparat electronic înregistrator format miniatură.

Variantele de execuţie sînt:

— *pentru semnalele neunificate* (seria E):

— tip E 35 — înregistrator miniatură cu o peniţă;

— tip E 36 — înregistrator normal cu o peniţă;

— tip E 45 — înregistrator miniatură cu două peniţe;

— tip E 46 — înregistrator normal cu două peniţe;

— *pentru semnale unificate* (seria EIR): tipurile EIR 35, EIR 36, EIR 45 şi EIR 46, care au aceleaşi caracteristici ca tipurile omoloage pentru semnale neunificate.

2. APARATE INDICATOARE TIP E

După cum s-a arătat, aparatele indicatoare folosesc — ca şi cele înregistratoare — aceleaşi tipuri de compensatoare automate, cu deosebirea că scara este circulară, avînd un unghi de 270° (fig. 15.10).

La dimensiunile aparatului — gabarit frontal 150 × 158 mm — lungimea desfăşurată a scării este de 235 mm.

Schema electrică de principiu a aparatelor indicatoare este practic aceeaşi din figura 15.7, cu observaţia că le lipseşte sistemul de înregistrare.

Toate aparatele de măsurat, inclusiv cele înregistratoare, au o sensibilitate* de 0,1% şi o precizie (eroare maximă) de 0,5%.

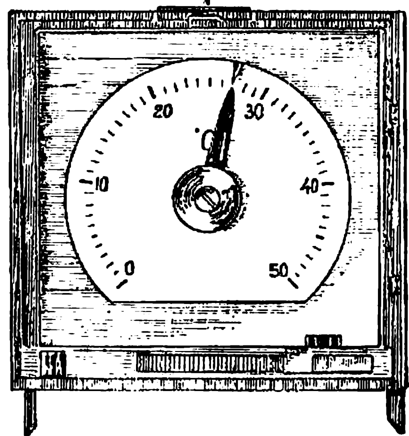


Fig. 15.10. Aparat electronic indicator.

3. FUNCŢIUNI AUXILIARE ALE APARATELOR ÎNREGISTRATOARE ŞI INDICATOARE TIP E

În afara funcţiunilor principale de înregistrare şi (sau) indicare (afişare), aparatele IEA tip E pot îndeplini şi unele dintre următoarele funcţiuni suplimentare: funcţiunea *M*, funcţiunea *K*, funcţiunea *D*,

* Prin *sensibilitate* se înţelege abaterea minimă (exprimată în procente) la care compensatorul reacţionează. De exemplu, pentru semnalul unificat 2—10 mA, 0,1% reprezintă 1‰, adică 10μA sau — deoarece R_0 = 80 Ω — rezultă 800μV = = 0,8mV.

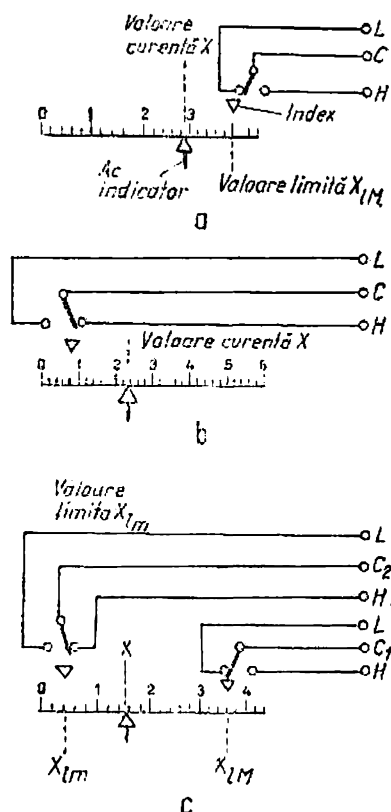


Fig. 15.11. Funcţiunea M a aparatelor înregistratoare tip E:
a — M_1 (contacte de maximum); *b* — M_2 (contacte de minimum); *c* — M_3 (contacte de maximum şi de minimum).

funcţiunea S, funcţiunea C, funcţiunea T, funcţiunea TS.

● **Funcţiunea** M. Aparatele prevăzute cu această funcţiune posedă contacte de comutare care îşi schimbă poziţia numai la depăşirea unei limite superioare (funcţiunea M_1 — fig. 21.11, *a*), numai la depăşirea unei limite inferioare (funcţiunea M_2 — fig. 15.11, *b*) sau la depăşirea ambelor limite (funcţiunea M_3 — fig. 15.11, *c*).

Poziţia contactelor este reglabilă, ele putîndu-se fixa în orice poziţie (de exemplu $U_{i\,max} = 98\%$ şi (sau) $U_{i\,min} = 25\%$); poziţiile respective sînt evidenţiate printr-un „index" (reper) pe scară. Contactul este comutat cînd acul indicator trece prin dreptul indexului.

Contactele respective sînt folosite pentru a acţiona lămpi de semnalizare, buzere (sonerii), relee etc., deci în scopul îndeplinirii funcţiei de control automat (v. cap. 10).

● **Funcţiunea K** (K_1, K_2 sau K_3) este practic identică cu funcţiunea M, cu diferenţa că poziţiile contactelor nu sînt evidenţiate prin repere pe scară.

● **Funcţiunea** B cu variantele B_1 şi B_2 sînt similare funcţiilor M_1 şi M_2, cu observaţia că contactele sînt constructiv fixate la limita superioară — 100% (B_1) — sau la limita inferioară — 0% (B_2). Aceste contacte servesc pentru semnalizarea întreruperii circuitului de intrare ($U_i = 0$) cînd compensatorul, nemaifiind echilibrat motorul MR (fig. 15.7), comandă deplasarea cursorului potenţiometrului R pînă la ieşirea din limite.

● **Funcţiunea** S cu variantele S_1, S_2 şi S_3 care sînt de asemenea similare funcţiilor M_1, M_2 şi M_3, se aplică la aparatele cu imprimarea (înregistrarea) prin puncte.

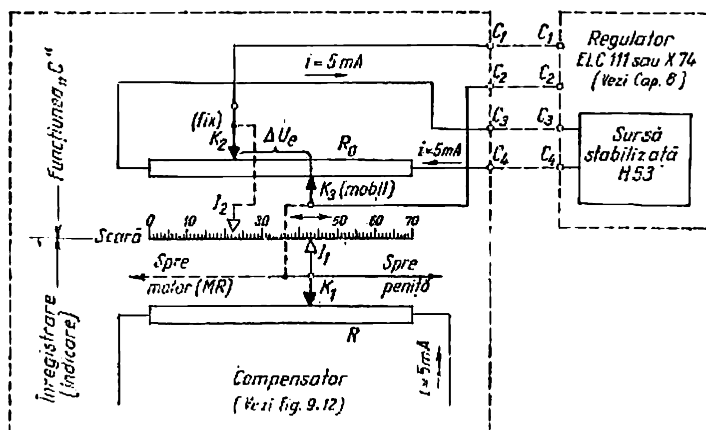


Fig. 15.12. Funcțiunea C a aparatelor înregistratoare tip E.

● **Funcțiunea** C (fig. 15.12) asigură transmiterea la distanță a semnalului de abatere (eroare) a mărimii măsurate de la o valoare prescrisă („de consemn" sau „de referință") — v. cap. 14 și 17. În acest scop, solidar cu cursorul K_1 și cu indicatorul I_1 al potențiometrului R din aparatul înregistrator (compensator automat — v. fig. 15.7) se află și cursorul K_3, care se deplasează pe potențiometrul R_0 adăugat suplimentar.

Potențiometrul R_0, identic cu R, este străbătut la fel ca și R, de un curent stabilizat $i = 5$ mA, astfel că potențialele în rezistența R_0 au o repartiție identică ca și în R.

Potențiometrul R_0 mai posedă un al doilea cursor, K_2, solidar cu indicatorul I_2, care se poate fixa manual într-o anumită poziție și care indică valoarea prescrisă a mărimii de măsurat.

În acest caz, tensiunea ΔU_e obținută între cursorul mobil K_3 și cel fix K_2 reprezintă abaterea* mărimii măsurate față de valoarea prescrisă, și ea este transmisă unui regulator pentru mărimea respectivă (v. cap. 14 și 17).

● **Funcțiunea** T constă în formarea unui semnal (0,4—2 V) proporțional cu mărimea măsurată, care poate fi transmis la distanță (fig. 15.13). Cursorul K_2 al potențiometrului R_0 (valoarea $R_0 = 320\ \Omega$) se deplasează solidar cu cursorul K_1 (indicatorul I_1) și, deoarece potențiometrul R_0 este parcurs de curentul stabilizat $i = 5$ mA, rezultă că tensiunea ΔU_e obținută este proporțională cu mărimea măsurată. Tensiu-

* Se constată că potențiometrul R_0 preia funcția organului numit „diferențialul" din cadrul regulatorului.

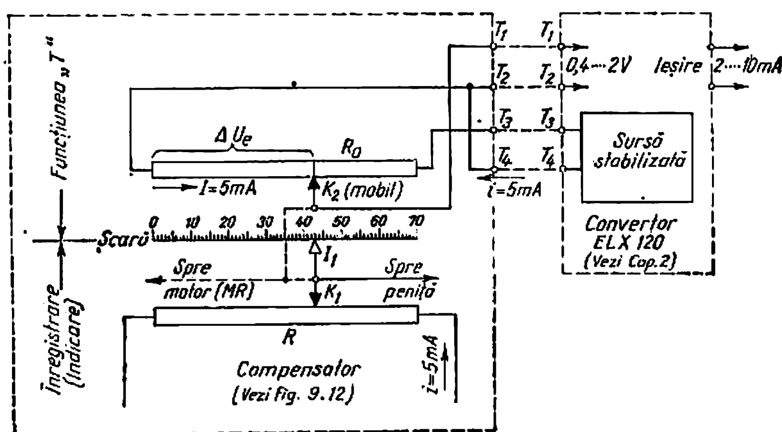


Fig. 15.13. Funcţiunea *T* a aparatelor înregistratoare tip E.

nea respectivă este aplicată, de obicei, unui convertor tensiune-curent (de exemplu tip EIX 120) care produce la ieşire semnalul unificat de curent 2—10 mA.

● **Funcţiunea** *TS* asigură transmiterea la distanţă a unui semnal de referinţă pentru regulatorul care reglează mărimea respectivă.

În acest caz (fig. 15.14) se foloseşte un potenţiometru R_0 la fel ca în cazurile precedente, străbătut de asemenea de curentul stabilizat $i = 5$ mA. Cursorul K_2 (inclusiv indicatorul I_2) este fix, indicînd mărimea

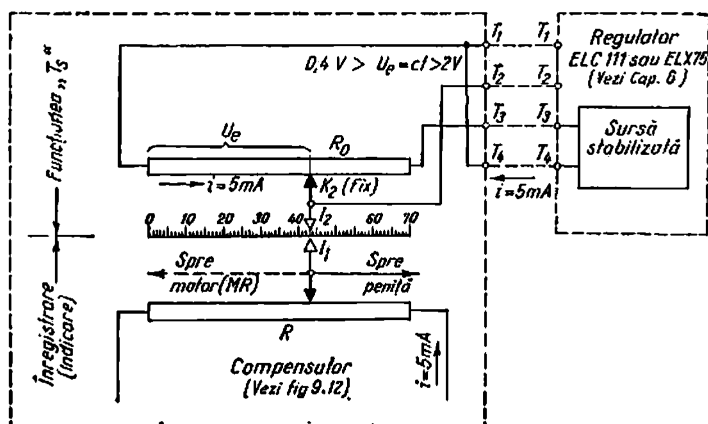


Fig. 15.14. Funcţiunea *TS* a aparatelor înregistratoare tip E.

de referință a regulatorului. Poziția cursorului K_2, deci valoarea mărimii de referință ($\Delta U_e = ct$), poate fi modificată manual.

Mărimea de referință $\Delta U_e = ct$ (cuprinsă între valorile 0,4—2 V) este aplicată regulatorului (tip ELC 111 sau EIX 75 — v. cap. 14).

În afara funcțiunilor descrise, aparatele înregistratoare (indicatoare) din sistemul E mai pot fi prevăzute şi cu alte funcțiuni, cum sînt: funcțiunea *H*, funcțiunea *I*, funcțiunea *Q*, funcțiunea *R*.

● **Funcțiunea** *H* asigură transmiterea s mnalului pentru comanda regulatorului bipozițional (X 74) în mai multe puncte.

● **Funcțiunea** *I* asigură transmiterea semnalului pentru comanda elementului totalizator (integrator) de debit.

● **Funcțiunea** *Q* asigură transmiterea semnalului pentru corecția debitului unui fluid în funcție de variațiile presiunii măsurate.

● **Funcțiunea** *R* asigură obținerea unei mărimi proporționale cu rădăcina pătrată a semnalului de intrare etc.

Codul folosit pentru tipul înregistratorului sau indicatorului mai trebuie completat cu un index înaintea celor două cifre, în funcție de traductorul sau elementul cu care este cuplat. Astfel:

0 — pentru termocupluri;

1 — pentru termorezistențe;

5 — pentru pirometrul de radiație şi alte elemente cu semnalul în milivolți;

7 — pentru detectoare de umiditate;

IR — pentru elemente cu semnal unificat.

Funcțiile auxiliare sînt indicate în continuare, prin litera respectivă.

Exemplul 1. Aparat IEA tip E 010 M_2 T:

— aparat cu semnal neunificat (E) pentru termocupluri (O), indicator (10), cu semnalizare la depășirea limitei inferioare (M_2) şi cu transmiterea semnalului proporțional cu valoarea indicată (T).

Exemplul 2. Aparat IEA tip ELR 535 C:

— aparat cu semnal unificat (EIR), pentru pirometru (5), înregistrator miniatură cu o peniță (35), cu transmiterea semnalului de eroare (C).

4. APARATE INTEGRATOARE TIP E

Industria românească (IEA) realizează două tipuri de aparate (elemente) integratoare pentru semnal de intrare unificat (2—10 mA c.c.), folosind o serie de elemente electronice unificate precum şi un contor mecanic avînd un număr maxim de şase cifre (ranguri).

● **Integratorul liniar** *tip ELI 112* foloseşte pentru integrare un circuit *RC**, un generator autoblocat şi circuite de comandă şi stabilizare.

---

* $D\,[\text{m}^3/\text{h}] = K\sqrt{\Delta P} \Rightarrow \text{T}(\text{m}^3) = K\int_0^t D\,dt = K\int_0^t \sqrt{\Delta P}\cdot dt.$

Aparatul afişează indicaţia 100 după o oră, dacă în acest timp semnalul de intrare este menţinut la valoarea sa maximă (10 mA).

Precizia de măsurare este de 1%.

Tensiunea de alimentare este 220 V ± 10%, la 50 sau 60 Hz.

Puterea consumată este de circa 10 VA.

● **Integratorul extractor de radical** *tip ELI 103* este destinat contorizării debitului total *T*, al unui fluid, prin măsurarea debitului parţial *D* folosind traductoare de presiune diferenţială *P*. Performanţele tehnice sînt aceleaşi ca şi la tipul precedent.

REZUMAT

1. Sistemele de măsurare automată asigură informarea cantitativă asupra mărimilor — parametri — dintr-un proces tehnologic.

2. Sistemele de control automat constituie un caz particular al celor de măsurare automată, în care interesează nu valoarea absolută a unei mărimi, ci numai dacă mărimea controlată este mai mare (sau mai mică) decît o valoare prescrisă.

3. Prezentarea valorii mărimilor măsurate se poate face prin:
— afişare (indicare);
— înregistrare;
— integrare.

4. Afişarea poate fi:
— continuă sau analogică (folosind aparate cu ac indicator);
— discontinuă sau numerică (folosind aparate cu cifre).

5. Înregistrarea poate fi realizată pe:
— diagrame de hîrtie (rulantă sau circulară);
— benzi (cartele) perforate, benzi sau tamburi magnetici, memorii cu ferite sau tranzistoare etc.

6. În sistemul electronic tip E (IEA) se produc: aparate, indicatoare şi înregistratoare realizate pe baza sistemelor de măsurare cu circuit închis (compensatoare automate), precum şi alte tipuri de aparate cum sînt: cele de calcul, integratoare etc.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. Sistemele de măsurare automată folosesc pentru:
   a) informarea calitativă asupra parametrilor din proces?
   b) informarea cantitativă asupra parametrilor din proces?
   c) semnalizarea funcţionării instalaţiilor tehnologice?

2. Un sistem de control automat poate fi realizat cu ajutorul unui:
   a) ampermetru?
   b) manometru?
   c) releu?
3. Aparatele electronice înregistratoare tip E funcţionează pe baza sistemelor automate:
   a) cu circuit închis?
   b) cu surse stabilizate?
   c) cu circuit deschis?
4. Înregistratoarele tip E au în cadrul sistemelor de măsurare:
   a) funcţia de indicare şi înregistrare?
   b) funcţia de înregistrare şi calcul?
   c) funcţia de înregistrare şi integrare?
5. Printre funcţiile auxiliare ale aparatelor înregistratoare există şi aceea de:
   a) trasare a mărimilor măsurate pe o bandă de hîrtie?
   b) calculare a sumei, diferenţei sau raportului unor mărimi?
   c) semnalizare a ieşirii din limite a mărimilor măsurate?

CAPITOLUL 16

SISTEME DE COMANDĂ — SEMNALIZARE AUTOMATĂ

A. COMANDA

Din punctul de vedere al schemei structurale a sistemului automat comanda poate fi: *cu circuit deschis* sau *cu circuit închis*.

După cum s-a mai arătat, funcția de comandă (continuă sau discontinuă) se întîlnește ca parte componentă a sistemelor automate de reglare (v. cap. 17), de protecție, de sortare etc. În cadrul prezentului capitol se va trata comanda ca o funcție independentă.

● **Comanda cu circuit deschis** este aproape întotdeauna discontinuă, avînd în special o formă bivalentă corespunzătoare celor două stări posibile ale unor elemente: starea 0 (motor oprit, vană închisă, întreruptor deconectat etc.) sau starea 1 (motor pornit, vană deschisă etc.).

De exemplu, pe baza unui domeniu de variație bine definit al presiunii, nivelului, temperaturii etc., se realizează comanda automată de pornire sau oprire a unei pompe sau a unui ventilator, de deschidere sau închidere a unei vane sau a unui întreruptor etc.

După cum se va vedea din exemplele următoare (v. cap. 19) desfășurarea procesului de comandă are caracterul unei succesiuni (secvențe) de operații pe baza unui program simplu bine definit (de exemplu: se închide un contact, după trei secunde se închide un întreruptor...). Din acest motiv, sistemul respectiv mai poartă și numele de *comandă secvențială.*

● **Comanda cu circuit închis** lucrează cu mărimi analogice sau numerice și se desfășoară după un anumit „program" de lucru, motiv pentru care se mai numește și *comandă după program* sau pe scurt: *comandă program.* Ea și-a găsit un larg cîmp de aplicații în domeniul prelucrării pieselor metalice pe mașini-unelte (strung, freze, raboteză, morteză, mașină de găurit etc.), făcînd să se dezvolte un domeniu foarte vast al

automatizărilor şi anume: comanda program a maşinilor-unelte (v. fig. 19.4 ... 6).

Programul de lucru poate fi materializat sub două forme:

— *model fizic analog (şablon) al piesei* de prelucrat, caz în care avem de-a face cu maşini automate de copiat;

— *model matematic al piesei* (operaţiilor) de prelucrat, concretizat sub forma unui program numeric imprimat (ca şi la calculatoare — v. cap. 20) pe cartele, benzi magnetice sau de hîrtie. În acest caz avem de-a face cu comanda numerică a maşinilor-unelte.

Indiferent de forma sub care se manifestă, comanda intervine întotdeauna asupra elementelor de execuţie, adică modifică cantitatea de substanţă sau energie care participă la un anumit proces.

Exemplele de comandă sînt foarte numeroase, ele referindu-se atît la modificarea cantităţii de substanţă (comanda debitului, presiunii, nivelului etc.), cît şi la comanda modificării energiei (comanda întrerupătoarelor, a reostatelor etc.).

B. SEMNALIZAREA

În general, operaţia de comandă este însoţită şi de semnalizare, care permite o informare bivalentă asupra poziţiei sau stării agregatelor, asupra mărimilor din proces etc. Semnalizarea poate fi: *de poziţie*, *de prevenire* şi *de avarie*.

● **Semnalizarea de poziţie** reproduce în punctul central de supraveghere (camera de comandă) poziţia unor agregate care sînt comandate manual sau automat, adică reprezintă „răspunsul informaţional" produs de comanda discontinuă.

Cea mai simplă semnalizare a poziţiei se realizează cu lămpi. Astfel, de exemplu, aprinderea unei lămpi de culoare verde înseamnă starea 0 (motor oprit, vană închisă, cazan oprit etc.), iar aprinderea unei lămpi de culoare roşie înseamnă starea 1 (motor pornit, vană deschisă, cazan în funcţiune etc.).

● **Semnalizarea de prevenire** are rolul de a atrage atenţia că un anumit proces nu se desfăşoară normal şi că trebuie luate măsuri urgente „de prevenire" a unei defecţiuni tehnice (avarii). De exemplu, se semnalizează că temperatura la un cazan de abur este în scădere şi că deci trebuie luate măsuri de activare a arderii (de exemplu, să se comande pornirea unor turbosuflante, deschiderea a încă unei vane cu combustibil sau închiderea unor robinete de abur etc.). Semnalizarea de prevenire se realizează optic prin aprinderea unei lămpi şi acustic printr-o sonerie.

Semnalizarea de prevenire face parte integrantă din sistemul de control automat al parametrilor.

• Semnalizarea de avarie informează asupra producerii unor defecţiuni în instalaţia tehnologică, care au contribuit la oprirea parţială sau totală a procesului tehnologic de producţie. În general, semnalizarea de avarie se realizează printr-una sau mai multe lămpi care pîlpîie (ard intermitent) şi printr-un semnal acustic special de hupă (claxon).

Semnalizarea de avarie este asociată sistemelor automate de protecţie.

REZUMAT

1. Comanda automată reprezintă intervenţia dispozitivului de automatizare în modificarea poziţiei sau stării unor agregate sau elemente din instalaţia tehnologică, în scopul modificării unor parametri din proces.

2. Comanda automată poate fi:

— continuă, cînd parametrii sînt variaţi în mod continuu (de exemplu la sistemele automate de copiat);

— discontinuă, cînd elementele (sau mărimile) comandate iau poziţii (valori) distincte (de exemplu la sistemele de comandă automată secvenţială sau numerică).

3. Semnalizarea este o funcţie de informare cu caracter discontinuu asupra poziţiei sau stării unor agregate. Ea se concretizează:

— optic — prin lămpi sau alte sisteme de indicare;

— acustic — prin hupă (claxon) sau sonerie.

4. În sistemele de comandă automată secvenţială, elementele sau mărimile comandate iau numai două poziţii sau valori distincte (logică bivalentă: 0 sau 1), operaţiile de comandă desfăşurîndu-se într-o succesiune (secvenţă) prestabilită.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. Comanda automată este o funcţie care poate fi:
   a) numai continuă?
   b) numai discontinuă?
   c) continuă sau discontinuă?
2. Comanda continuă se foloseşte:
   a) numai la sistemele cu circuit închis?
   b) numai la sistemele cu comandă numerică?
   c) numai la sistemele secvenţiale?
3. Comanda discontinuă (discretă) se aplică:
   a) numai la sistemele numerice?
   b) numai la sistemele secvenţiale?
   c) la sistemele secvenţiale şi numerice?

CAPITOLUL 17

SISTEME DE REGLARE

A. NOȚIUNI FUNDAMENTALE ASUPRA SISTEMELOR DE REGLARE AUTOMATĂ

1. OBIECTUL REGLĂRII AUTOMATE

Reglarea automată este *acel proces, îndeplinit — în totalitate — automat, prin care o mărime fizică este fie menținută la o valoare prescrisă constantă, fie își schimbă valoarea la intervale de timp date, conform unui anumit program, luînd astfel o succesiune de valori prescrise.*

În cazul instalațiilor sau proceselor industriale la care precizia cerută operațiunilor de reglare este mare sau la care alți indicatori specifici fac imposibilă prezența operatorului uman (de exemplu, la viteze mari de variație a parametrilor reglați la determinarea implicită a variației acestora din variația altor mărimi fizice, în cazul funcționării la valori înalte a unor parametri ca tensiunea electrică, presiunea aburului etc. sau la funcționarea în medii nocive etc.), se impune eliminarea operatorului uman ca intermediar între aparatele de măsurat și organul de execuție și înlocuirea sa printr-un dispozitiv care să execute automat și în aceeași succesiune operațiile executate mai înainte de către om.

Acest dispozitiv, care elimină intervenția omului din procesul de reglare și funcționează fără intervenția omului, este **regulatorul automat** (v. cap. 14).

Reglarea este o reglare automată, iar sistemul respectiv un sistem de reglare automată (prescurtat *SRA*).

2. MĂRIMILE CARACTERISTICE PENTRU SISTEMELE DE REGLARE

Pentru procesele tehnice, aplicarea reglării are o importanță deosebită. De exemplu, funcționarea mașinilor cu abur, a turbinelor, a motoarelor cu ardere internă etc., este direct legată de reglarea turației, a pre-

siunii, a debitului de combustibil, a nivelului unui fluid, a temperaturii, a ungerii etc.

Desigur, o reglare este necesară numai atunci cînd mărimea reglată nu poate rămîne constantă de la sine, la valoarea dorită şi are tendinţa de a-şi modifica valoarea, de a se abate mai mult sau mai puţin în urma unor efecte perturbatoare externe sau interne.

În cazul oricărei reglări se deosebeşte o *mărime reglată* şi o *mărime de execuţie.*

● Mărimea care trebuie menţinută la valoarea prescrisă este **mărimea reglată.**

Mărimi reglate sînt, de exemplu, temperatura, debitul, frecvenţa, turaţia, tensiunea, şi puterea electrică, nivelul dintr-un rezervor etc.

● **Mărimea de execuţie** este mărimea obţinută la ieşirea organului de execuţie şi cu ajutorul căreia se poate influenţa mărimea reglată, pentru a o aduce la valoarea dorită.

De exemplu, *dacă se cere ca într-un cuptor cu gaz să fie menţinută constantă temperatura,* aceasta din urmă poate fi influenţată în sensul dorit (creştere sau scădere) prin modificarea debitului de gaz de ardere. În acest caz, mărimea reglată este temperatura, iar mărimea de execuţie este debitul de gaz.

Dacă se urmăreşte menţinerea constantă a turaţiei unui motor electric de curent continuu, pentru variaţia turaţiei în sensul dorit se variază curentul de excitaţie al motorului. Deci, mărimea reglată este, în acest caz, turaţia, iar mărimea de execuţie este curentul de excitaţie al motorului.

● Influenţele externe sau interne care sînt cauzele abaterilor valorilor instantanee ale mărimii reglate de la valoarea prescrisă se numesc, în tehnica reglării, **perturbaţii** sau **mărimi perturbatoare.**

La reglarea unei anumite mărimi se exercită influenţa uneia sau a mai multor mărimi perturbatoare.

În cazul menţionat al reglării temperaturii într-un cuptor cu gaz, se pot considera ca mărimi perturbatoare presiunea variabilă a gazului, puterea calorică variabilă a gazului, temperatura diferită a mediului ambiant, cantitatea variabilă de căldură absorbită de cuptor etc.

Analog, în cazul reglării turaţiei motorului de curent continuu se exercită influenţa unor perturbaţii diferite: tensiunea variabilă de alimentare a motorului, variaţia cuplului de sarcină cerut de maşina de lucru antrenată de motorul respectiv, variaţia rezistenţei electrice cu temperatura etc.

De regulă, efectul influenţei uneia dintre mărimile perturbatoare este preliminat; această perturbaţie este considerată ca *perturbaţie principală* şi acţiunea de reglare se manifestă în sensul eliminării abaterii mărimii reglate de la valoarea prescrisă sub influenţa perturbaţiei principale.

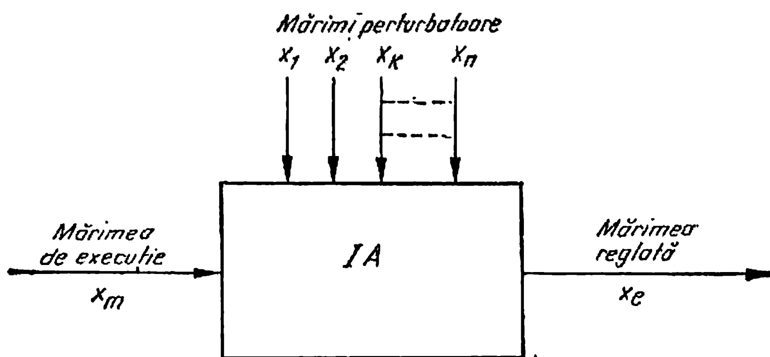


Fig. 17.1. Schema-bloc a obiectului reglării, în general:
IA — obiectul reglării; x_e — mărimea reglată, x_m — mărimea de execuție; X_1, X_2 ... X_n — mărimi perturbatoare.

În figura 17.1 este reprezentată schema-bloc a obiectului reglării în general (instalația sau procesul supuse reglării). La intrarea obiectului reglării, reprezentat simbolic printr-un dreptunghi, se aplică mărimea de execuție x_m; la ieșire, rezultă mărimea reglată x_e. Din exterior, se exercită acțiunea unor mărimi perturbatoare X_1, X_2 ... X_n, dintre care urmează a fi selectată perturbația principală.

3. EXEMPLE DE SISTEME DE REGLARE

În figura 17.2 s-a reprezentat simplificat o **instalație pentru reglarea automată a temperaturii apei la ieșirea din schimbătorul de căldură.** Instalația de reglare automată cuprinde: *elementul de măsurat*, *elementul de comparație*, *regulatorul automat* și *elementul de execuție.*

● **Elementul de măsurat** (traductorul) *EM* este reprezentat de termometrul manometric *1*, instalat pe conducta de apă caldă, la ieșirea din încălzitor. Acest element măsoară temperatura θ_e a apei la ieșire și transformă energia termică absorbită de la apa caldă într-o variație de presiune, pe care o transmite prin tubul capilar *2* la tubul Bourdon *3*; acesta din urmă transformă variația de presiune într-o deplasare, prin care se modifică poziția paletei *4*. Elementele *1*, *2*, *3* și *4*, la care se poate adăuga și indicatorul *5* (atunci cînd există), formează împreună elementul de măsurat.

● **Elementul de comparație** *EC* compară temperatura apei la ieșire θ_e cu valoarea prescrisă (de consemn) θ_i, rezultînd abaterea de reglare sau eroarea: $x_a = \Delta\theta = (\theta_i - \theta_e)$. În schema din figura 17.2, valoarea

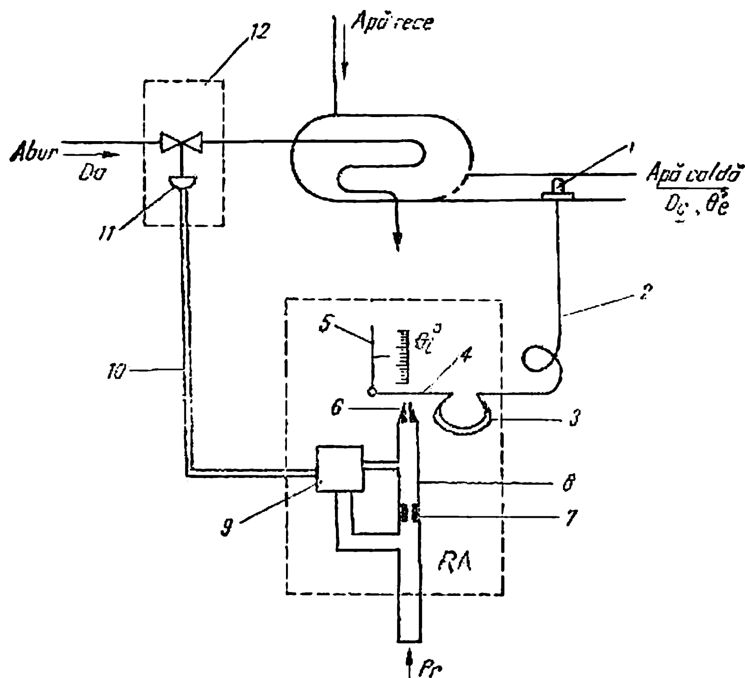


Fig. 17.2. Instalația de reglare automată a temperaturii apei la ieșirea din schimbătorul de căldură.

prescrisă a temperaturii $\theta_i = x_i$ = mărimea de intrare, este reprezentată prin punctul de oscilație al paletei *4*. Acest punct poate fi deplasat manual în sus sau în jos cu ajutorul tijei *5*. Valoarea măsurată θ_e a temperaturii apei la ieșirea din încălzitor este reprezentată prin poziția extremității mobile a tubului Bourdon, articulată cu paleta *4*. Atunci cînd $\theta_e \neq \theta_i$ (deci $\Delta\theta = 0$), mijlocul paletei se află exact în dreptul ajutajului conic *6*. La orice altă valoare $\theta_e \neq \theta_i$ (deci $\Delta\theta \neq 0$),poziția punctului de la mijlocul paletei reprezintă o mărime proporțională cu diferența $(\theta_i - \theta_e)$. Temperatura θ_e reprezintă mărimea de ieșire x_e, iar deplasarea extremității tubului Bourdon reprezintă mărimea de reacție x_r. Rezultă eroarea: $x_a = x_i - x_r = \varepsilon$, mărimea de la ieșirea elementului de comparație *EC*.

• **Regulatorul automat** *RA*, reprezentat simplificat în figura 17.2, îndeplinește numai o funcție de amplificare a semnalului primit de la elementul de comparație.

În spaţiul *8* al amplificatorului pneumatic (sistem duză-paletă), alimentat cu aer sub presiune constantă prin elementul de strangulare *7*, se obţine o presiune proporţională cu distanţa între paletă şi ajutaj, deci proporţională cu diferenţa $\Delta\theta = (\theta_i - \theta_e)$.

Amplificatorul pneumatic *9*, alimentat de la aceeaşi sursă de aer comprimat, produce în conducta *10* o presiune proporţională cu $\Delta\theta = \theta_i - \theta_e$. Această presiune reprezintă mărimea de comandă x_c, adică mărimea de la ieşirea regulatorului *RA*. Mărimea de comandă este mărimea de intrare pentru elementul de execuţie *EE*.

● **Elementul de execuţie** *EE* este ventilul *12*, care modifică debitul D_a al aburului de încălzire. Ventilul are o membrană *11*, asupra căreia se exercită presiunea de aer din conducta *10*, de la ieşirea din regulator. Secţiunea deschiderii ventilului asigură valoarea debitului D_a (mărimea de execuţie x_m) care se aplică la intrarea schimbătorului de căldură (instalaţia reglată sau obiectul reglării *OR*).

● **Se observă că** un sistem de reglare automată are rolul de a realiza o anumită lege de dependenţă între mărimea de ieşire x_e, care caracterizează la un moment dat o instalaţie sau un proces tehnologic, şi mărimea de intrare x_i, prin care se comandă modificările în funcţionarea acestora.

Ansamblul format din obiectul reglării (instalaţia reglată) + *regulatorul automat* + *elementele de măsurare şi execuţie, realizat în scopul reglării automate a unui anumit proces sau parametru de proces*, se numeşte **sistem de reglare automată** *(SRA)*.

4. SCHEMA FUNCŢIONALĂ A UNUI SRA

Pentru studiul reglării automate este folositoare o reprezentare simbolică, denumită *schemă funcţională*.

Schema funcţională a unui sistem de reglare automată este acea schemă în care se *indică elementele componente ale sistemului de reglare automată (SRA), destinaţia lor* şi *legăturile funcţionale între ele*.

Elementele unui sistem de reglare automată sînt reprezentate în schema funcţională prin *blocuri funcţionale*.

Schema funcţională a unui *SRA* conţine:

— *legătura directă* sau principală, care înglobează toate elementele cuprinse între elementul de comparaţie *EC* şi ieşirea instalaţiei automatizate;

— *legătura inversă* sau secundară, numită deseori „cale de reacţie", care cuprinde elementele situate între ieşirea instalaţiei automatizate şi elementul de comparaţie.

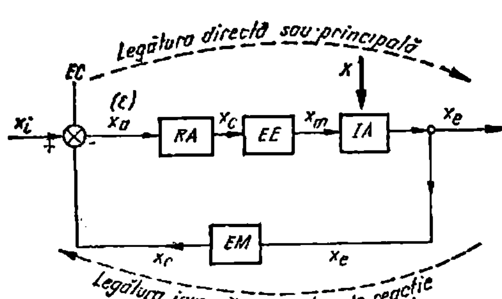


Fig. 17.3. Schema funcțională a *SRA* din fig. 8.2: *EC* — element de comparație; *RA* — regulator automat; *EE* — element de execuție; *EM* — element de măsurat.

Transmiterea semnalului (sau informației) se face de la intrare spre ieșirea *SRA* pe legătura directă și de la ieșire spre intrarea *SRA* pe legătura inversă.

Împreună, cele două legături (directă și inversă) alcătuiesc un circuit închis de reglare automată sau o *buclă de reglare.*

În schema funcțională se indică mărimile de intrare și de ieșire ale fiecărui element, precum și sensul în care un element influențează pe celălalt, adică sensul de transmitere a semnalului (sau informației) în cuprinsul sistemului de reglare automată.

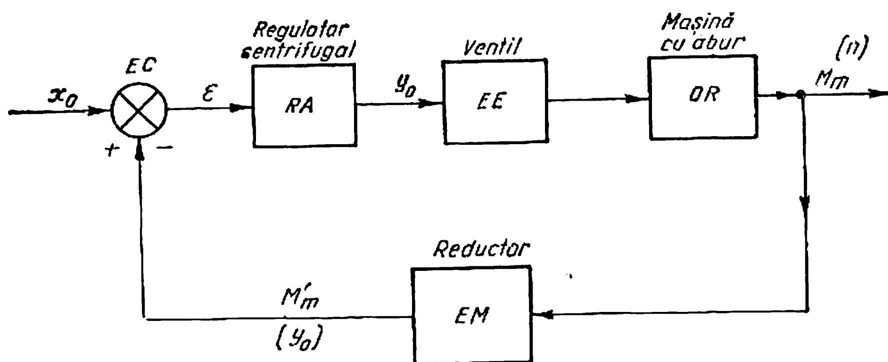
Pentru fiecare element din schemă semnalul se transmite în sens unic, de la intrarea elementului la ieșirea acestuia. În acest fel, pentru fiecare bloc se stabilește o dependență a mărimii de la ieșire de variația mărimii de la intrarea elementului respectiv.

Se obișnuiește a se reprezenta schema funcțională prin înșiruirea elementelor componente ale *SRA*, în ordinea strictă a legăturilor funcționale între ele. De exemplu, pentru instalația de reglare automată din figura 17.2, schema funcțională este reprezentată în figura 17.3 (reprezentarea valabilă și pentru celelalte *SRA*).

Obiectul reglării (elementul automatizat sau instalația tehnologică reglată), la ieșirea căruia se obține mărimea de ieșire x_e (în cazul de față, temperatura apei la ieșire θ_e) este supus influenței mărimilor perturbatoare X din exterior, sub acțiunea cărora se produc variații ale mărimii reglate. În cazul sistemului din figura 17.2, mărimea perturbatoare este variația debitului de apă caldă D_q consumat.

În figura 17.4 sînt reprezentate alte două instalații de reglare, cu schemele funcționale respective.

○ **Observație.** Pentru simplificarea studiului *SRA*, printr-o alegere convenabilă a unităților de măsură ale mărimilor x_r și x_e se poate ajunge la egalitatea: $x_r = x_e$. În acest fel este eliminat din reprezentarea schemei funcționale a unui *SRA* elementul de măsurare *EM* de pe calea de reacție.



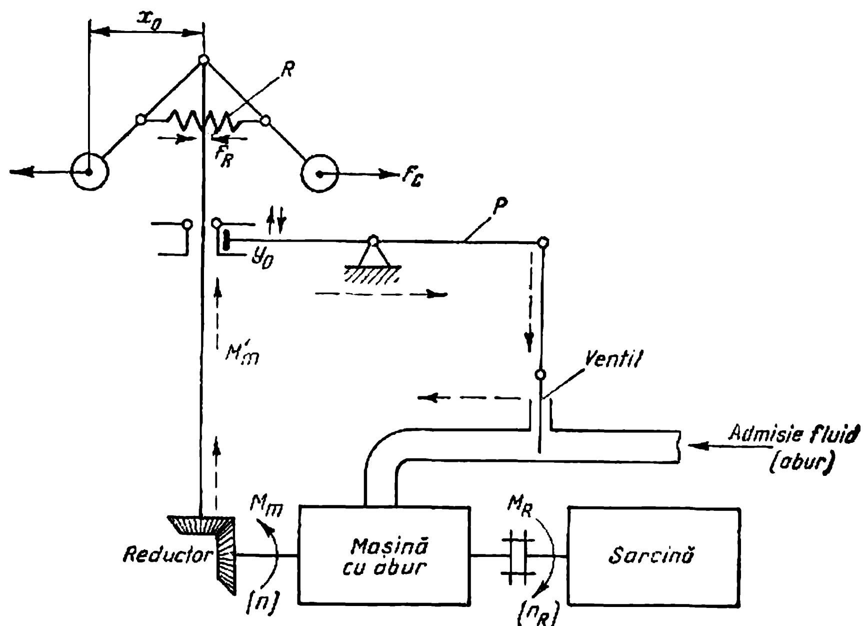
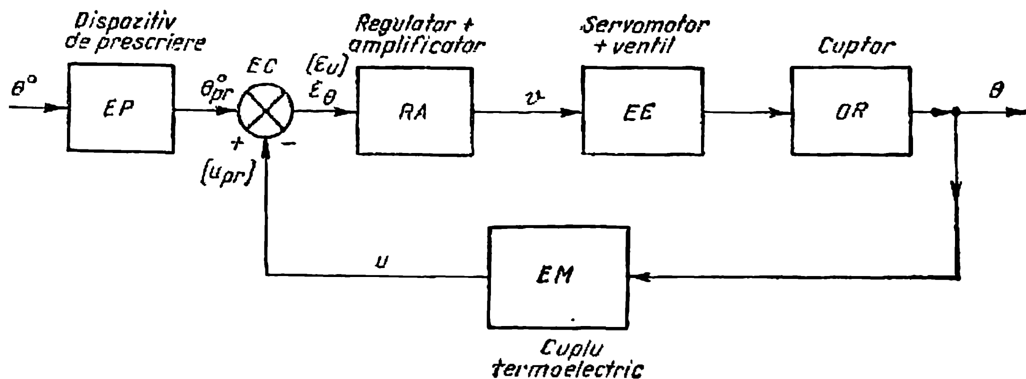


Fig. 17.4, a. Instalație de reglare și schema funcțională.



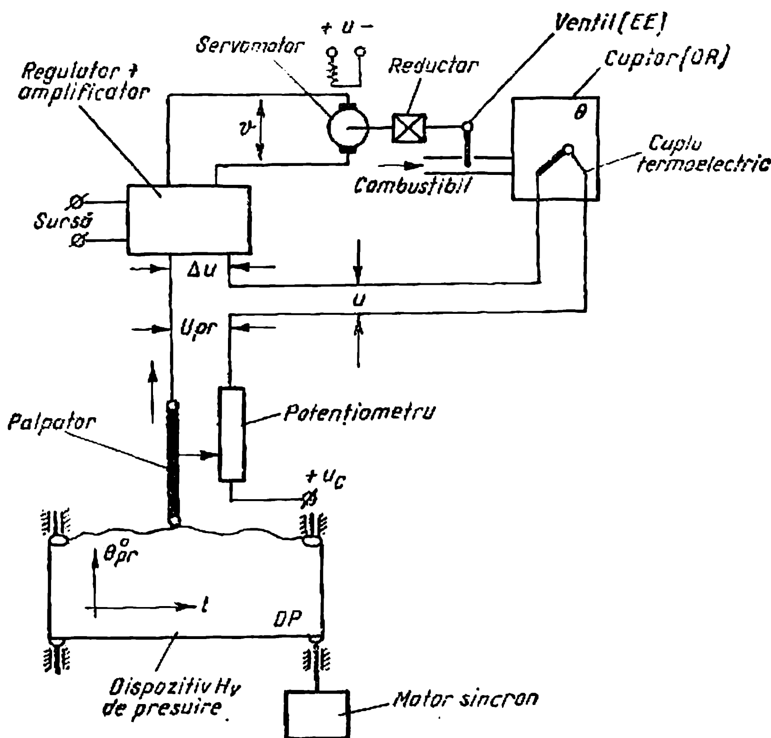


Fig. 17.4, b. Instalație de reglare și schema funcțională.

B. CLASIFICAREA SISTEMELOR DE REGLARE

Sistemele de reglare automată se pot clasifica în funcție de numărul buclelor de reglare, în funcție de felul mărimii de la intrare, în funcție de viteza de variație a mărimii reglate (sau viteza de răspuns), în funcție de numărul mărimilor reglate și după tipul acțiunii regulatorului automat.

● **În funcție de numărul buclelor de reglare** se deosebesc:

— *SRA cu o buclă de reglare* (sau cu un singur regulator automat);

— *SRA cu mai multe bucle de reglare* (sau cu mai multe regulatoare automate).

SRA cu mai multe bucle de reglare pot fi *sisteme de reglare în cascadă*, care cuprind mai multe regulatoare automate, cu ajutorul cărora, pe lîngă mărimea de ieșire x_e, sînt reglate și alte mărimi intermediare din cuprinsul instalației sau procesului reglat, și *sisteme de reglare combinată*, în care, pe lîngă regulatorul automat principal se prevăd unul sau mai multe regulatoare suplimentare, care intră în funcțiune numai la apariția anumitor acțiuni perturbatoare.

● **În funcție de aspectul variației în timp a mărimii de la intrarea** x_i (deci după variația în timp impusă mărimii de ieșire x_e) se deosebesc:

— *sisteme de stabilizare automată* (cînd $x_i = ct$ — de exemplu menținerea constantă a unui parametru — ca în figura 17.5, *a*; acestea se mai numesc *SRA cu consemn fix* sau *cu program fix*;

— *sisteme de reglare automată cu program variabil*

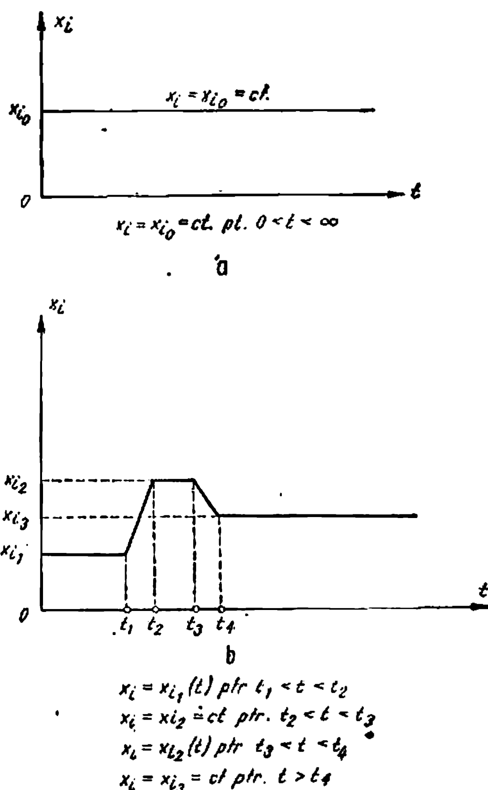


Fig. 17.5. Variația mărimii de la intrarea *SRA*:

a — *SRA* cu program fix (sau consemn constant); *b* — *SRA* cu program variabil (sau consemn programat).

(cînd x_i variază în timp după o lege prestabilită — de exemplu la cuptoarele industriale pentru tratamente termice — ca în figura 17.5, *b*; acestea se mai numesc *SRA cu consemn programat*;

— *sisteme de reglare automată de urmărire* (cînd x_i variază în funcție de un parametru din afara *SRA*, legea de variație în timp a acestui parametru nefiind cunoscută dinainte).

● **În funcție de viteza de răspuns a obiectului reglării la un semnal** x_i **aplicat la intrare** se deosebesc:

— *SRA pentru procese lente* (cele mai răspîndite, instalațiile tehnologice industriale caracterizîndu-se printr-o anumită inerție), ca, de exemplu, cel din figura 17.2;

— *SRA pentru procese rapide*, cum sînt sistemele de reglare automată aplicate mașinilor și acționărilor electrice (de exemplu reglarea turației motoarelor, reglarea tensiunii generatoarelor etc.).

● **După numărul mărimilor de ieșire ale obiectului reglat asupra cărora se exercită acțiunea de reglare automată,** se deosebesc:

— *SRA cu o singură mărime reglată* (sau *SRA convenționale)*;

— *SRA cu mai multe mărimi reglate simultan* (sau *SRA multivariabile)*.

● **După tipul acțiunii regulatorului automat** se deosebesc:

— *SRA cu acțiune continuă*, la care mărimea de ieșire a fiecărui element component este o funcție continuă de mărimea sa de intrare. Aceste *SRA* conțin fie regulatoare liniare, la care dependența $x_c = f(\varepsilon)$ este liniară, fie regulatoare neliniare, la care această dependență este neliniară;

— *SRA cu acțiune discontinuă (discretă)*, la care mărimea de la ieșirea regulatorului este reprezentată de o succesiune de impulsuri de reglare, fie modulate în amplitudine sau durată (cazul regulatoarelor cu impulsuri), fie codificate (cazul regulatoarelor numerice).

C. FORMELE FUNDAMENTALE ALE VARIAȚIEI SEMNALULUI APLICAT LA INTRARE; FUNCȚII TIP PENTRU $x_i(t)$. RĂSPUNSUL SRA LA FUNCȚIILE DE INTRARE TIP.

În cazul sistemelor de reglare automată, mărimea de la intrare variază într-un mod predeterminat, după un anumit program. În multe situații din practica *SRA*, acest program este reprezentat de o *funcție tip*, adică de o funcție simplă, cu variație specifică, dar comună pentru numeroase sisteme de reglare.

Funcțiile tip ale variațiilor mărimilor de intrare, precum și ale mărimilor de ieșire corespunzătoare, sînt prezentate în figura 17.6. Acestea

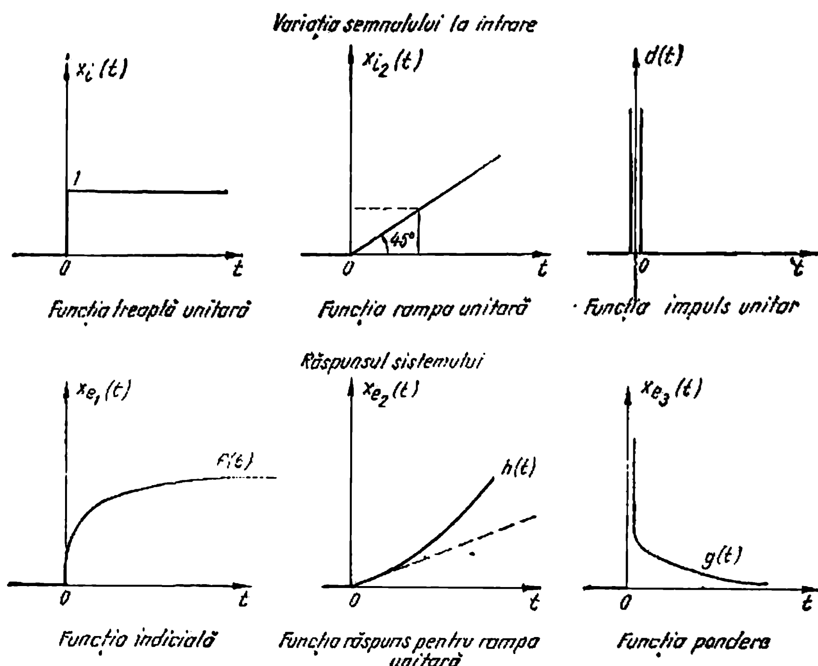


Fig. 17.6. Formele fundamentale ale variației semnalului de la intrare și răspunsul *SRA* la aceste variații tip.

reprezintă formele fundamentale ale variației semnalului aplicat la intrarea unui *SRA*.

Pentru mărimile de intrare, $[x_i(t)]$, funcțiile tip se numesc: *treaptă unitară, rampă unitară, impuls unitar* și conduc la funcții de ieșire $[x_e(t)]$ (răspunsuri) denumite respectiv *funcție indicială, răspuns pentru rampa unitară, funcție pondere.*

● **Funcția treaptă unitară** $x_{i1}(t)$ are valoarea zero pentru valori de timp $t < 0$, face un salt la valoarea 1 în momentul $t = 0$ și păstrează această valoare pentru întregul interval $t > 0$. Răspunsul sistemului de reglare automată, adică variația mărimii de ieșire $x_e(t)$ pentru variația treaptă unitară la intrarea *SRA*, se numește funcție indicială sau *răspuns indicial.*

● **Funcția rampă unitară** $x_{i2}(t)$ reprezintă o creștere cu viteză de variație unitară:

$$\frac{dx_{i2}(t)}{dt} = 1, \text{ pentru } t > 0. \qquad (17.1$$

Pentru $t < 0$, $x_{i2}(t)$ este nulă. Dreapta care reprezintă variația lui $x_i(t)$ face un unghi de 45° cu axa timpului.

● **Funcția impuls unitar** $x_{i3}(t) = \delta(t)$, reprezentată în aceeași figură, se definește astfel:

$$\delta(t) = 0 \text{ pentru } t \neq 0; \qquad \delta(t) = \infty \text{ pentru } t = 0. \tag{17.2}$$

Răspunsul unui sistem automat la funcția $\delta(t)$ se numește *funcție pondere.*

Cu ajutorul funcțiilor tip, studiul funcționării *SRA* cu comportare liniară la o variație oarecare a mărimii de intrare x_i se reduce la descompunerea acesteia în funcții tip, la determinarea comportării *SRA* în raport cu fiecare din aceste funcții tip și în cele din urmă, la suprapunerea efectelor, pentru a afla răspunsul global al *SRA*.

D. PERFORMANȚELE SISTEMELOR DE REGLARE

Se pot defini următoarele performanțe (sau indici de calitate) ce caracterizează funcționarea unui *SRA*:

— *eroarea staționară*;
— *suprareglarea*;
— *durata regimului tranzitoriu, timpul de creștere* și *timpul primului maxim*;
— *stabilitatea.*

1. EROAREA STAȚIONARĂ

Eroarea staționară sau abaterea staționară se notează cu ε_{st} și caracterizează precizia de funcționare a *SRA* în regim staționar. Acest indice de calitate se poate determina pentru regimul staționar care se stabilește în urma regimului tranzitoriu provocat de variația mărimii de la intrare x_i.

Considerînd un *SRA* liniar, cu parametri constanți, se poate defini eroarea staționară ε_{st} ca fiind:

$$\varepsilon_{st} = x_i - x_{e\,st} \tag{17.3}$$

unde $x_{e\,st}$ reprezintă valoarea staționară (sau stabilizată) a mărimii de la ieșire:

$$x_{e\,st} = \lim_{t\to\infty} x_e(t). \tag{17.4}$$

iar x_i — mărimea aplicată la intrare, care în cazul *SRA* coincide cu valoarea de consemn.

Performanța impusă erorii staționare a unui *SRA* este de forma:

$$\varepsilon_{st} < \varepsilon_{st\,imp}; \tag{17.5}$$

unde $\varepsilon_{st\,imp}$ este valoarea impusă (maximă admisibilă) a erorii staționare. Mărimea erorii staționare este exprimată de obicei în procente față de valoarea staționară a mărimii de ieșire x_{est}. De cele mai multe ori se impune $\varepsilon_{st} = 0$.

În figura 17.7, *a* este reprezentat răspunsul $x_e(t)$ al unui *SRA* la intrarea căruia se aplică o variație treaptă unitară, pentru cazul $\varepsilon_{st} = 0$, iar în figura 17.7, *b* — pentru cazul $\varepsilon_{st} \neq 0$.

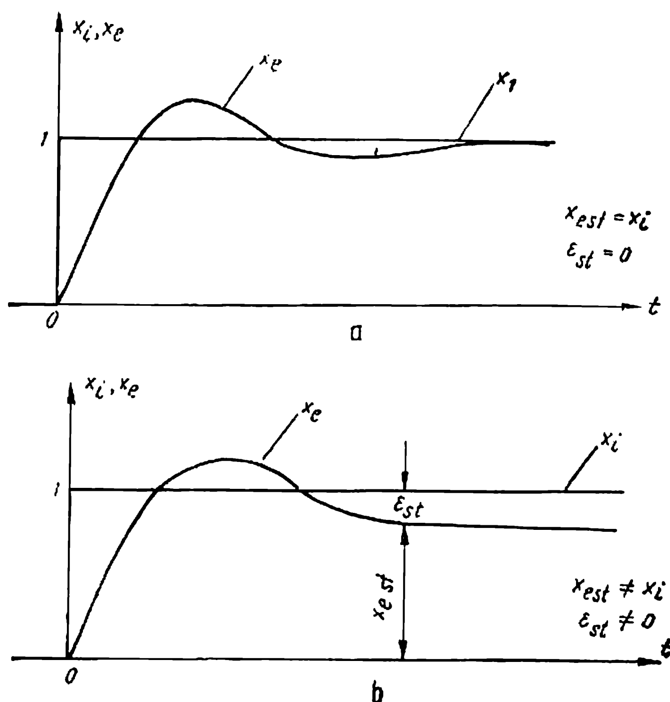


Fig. 17.7. Răspunsul unui *SRA* la intrarea căruia se aplică o variație treaptă unitară, în cazul:
a — $\varepsilon_{st} = 0$; *b* — $\varepsilon_{st} \neq 0$.

Dacă se notează cu K_{AG} factorul total de amplificare al sistemului, eroarea staționară poate fi determinată prin relația:

$$\varepsilon_{st} = \frac{1}{1 + K_{AG}} \cong \frac{1}{K_{AG}}, \tag{17.6}$$

deoarece $K_{AG} \gg 1$.

Prin urmare, condiția $\varepsilon_{st} \leqslant \varepsilon_{st\,imp}$ va conduce, în conformitate cu (17.6) la o condiție de forma:

$$K_{AG} \geqslant K_{AG\,imp}, \tag{17.7}$$

unde $K_{AG\,imp}$ este valoarea admisibilă pentru factorul (coeficientul) de amplificare al *SRA* din punctul de vedere al performanței erorilor staționare.

2. SUPRAREGLAREA UNUI SRA

Suprareglarea σ este un indice de calitate al regimului tranzitoriu al *SRA*; ea este produsă de o variație a mărimii de intrare x_i. Se poate spune că σ *caracterizează precizia dinamică* a *SRA*.

Suprareglarea σ (fig. 17.8) se definește ca depășirea maximă de către mărimea de ieșire $x_e(t)$, în decursul primei oscilații a regimului tranzitoriu, a valorii staționare $x_{e\,st}$ care se stabilește după terminarea acestui regim.

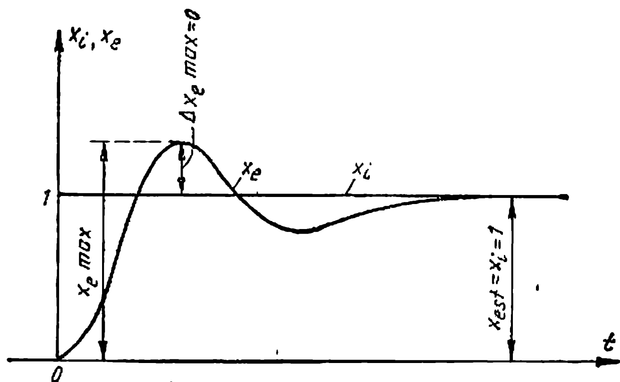


Fig. 17.8. Suprareglarea unui sistem de reglare automată.

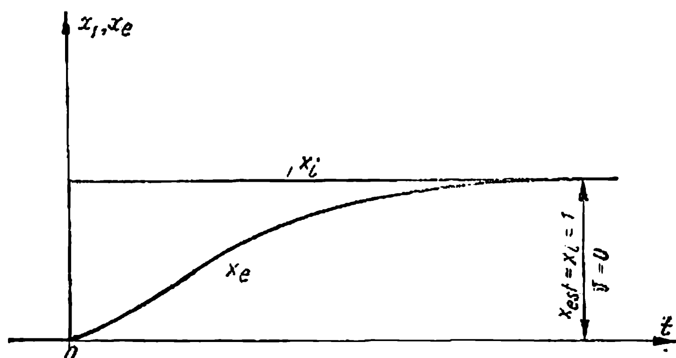


Fig. 17.9. Reglarea în regim tranzitoriu aperiodic.

Depășirea maximă apare în prima semiperioadă a oscilației amortizate $x_e(t)$. Dacă regimul tranzitoriu este aperiodic, $\sigma = 0$ (fig. 17.9).

De obicei, suprareglarea σ se raportează la valoarea staționară a mărimii de ieșire $x_{e\,st}$ și se exprimă procentual:

$$\sigma\% = \frac{x_{e\,max} - x_{e\,st}}{x_{e\,st}} 100 = \frac{\Delta x_{e\,max}}{x_{e\,st}} 100. \tag{17.8}$$

Deoarece depășirile însemnate ale valorii staționare $x_{e\,st}$ pot provoca suprasolicitări ale elementelor instalației sau ale procesului tehnologic reglat, conducînd fie la uzura prematură, fie chiar la deteriorarea acestora (de exemplu, prin străpungerea izolației ca urmare a depășirii tensiunii nominale, în instalațiile electrice), valoarea suprareglării trebuie limitată. Astfel, se impune o condiție restrictivă, exprimată de asemenea procentual:

$$\sigma[\%] \leqslant \sigma_{imp}[\%], \tag{17.9}$$

unde $\sigma_{imp}[\%]$ reprezintă valoarea impusă (maximă admisibilă) a suprareglării, în funcție de tipul și condițiile de funcționare ale instalației tehnologice sau ale procesului reglat. De exemplu, pentru sistemele de reglare automate din energetică, valoarea lui $\sigma_{imp}[\%]$ nu trebuie să depășească 10—15%.

3. DURATA REGIMULUI TRANZITORIU, TIMPUL DE CREȘTERE ȘI TIMPUL PRIMULUI MAXIM

Acești indici de calitate caracterizează rapiditatea procesului tranzitoriu al reglării și au o deosebită însemnătate în analiza *SRA*.

● Durata regimului tranzitoriu t_{tr} (fig. 17.10), denumită și *timpul de răspuns* al *SRA*, reprezintă timpul măsurat de la începutul procesu-

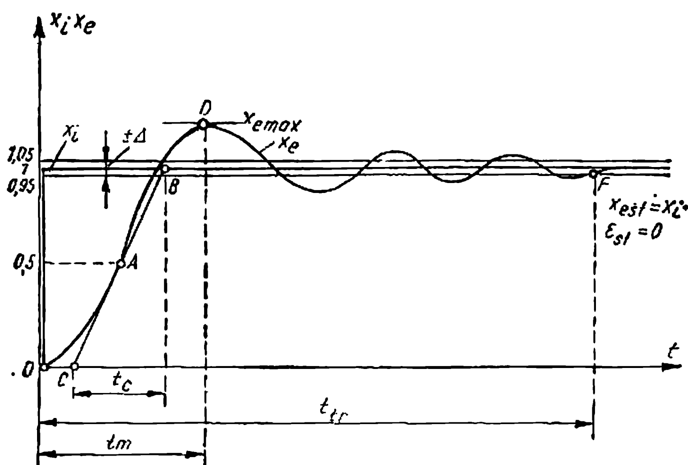


Fig. 17.10. Durata regimului tranzitoriu, timpul de creștere, timpul primului maxim și timpul primei atingeri a valorii staționare.

lui tranzitoriu și pînă la momentul cînd, în valoarea absolută, diferența dintre mărimea de ieșire $x_e(t)$ și valoarea sa staționară a $x_{e\,st}$ scade permanent sub o limită anumită Δ:

$$|x_e - x_{e\,st}| < \Delta, \tag{17.10}$$

fără ca ulterior să depășească această limită.

În practică, se adoptă de cele mai multe ori:

$$\Delta = 0{,}05\, x_{e\,st} = \frac{5}{100} x_{e\,st}. \tag{17.11}$$

Pentru ca procesul de reglare automată să se desfășoare cu suficientă rapiditate, trebuie satisfăcută performanța:

$$t_{tr} \leqslant t_{tr\,imp}, \tag{17.12}$$

unde $t_{tr\,imp}$ este valoarea maximă admisibilă a duratei regimului tranzitoriu, impusă de specificul procesului sau de tipul instalației reglate.

● În figura 17.10 s-a notat și **momentul primului maxim** t_m (corespunzător punctului D).

● Pentru aflarea **timpului de creștere** t_c pe cale grafică se procedează astfel: se trasează tangenta la curba $x_e(t)$ în punctul în care are ordonata 0,5 $x_{e\,st}$, în cazul de față punctul A, cu ordonata $0{,}5 \cdot 1 = 0{,}5$ stabilindu-se punctele de intersecție ale acestei tangente cu axa absciselor

(punctul C) şi cu orizontala dusă la distanţa $x_e = x_{e\,st}$, în paralel cu axa timpului (punctul B, deoarece $x_{e\,st} = x_i$). Pentru t_c se adoptă o valoare egală cu proiecţia pe axa timpului a segmentului de tangentă BC, cuprins între cele două puncte de intersecţie, stabilite mai sus.

Timpul de creştere oferă un indiciu asupra vitezei de creştere a mărimii de la ieşire x_e în cursul primei oscilaţii.

4. STABILITATEA SISTEMELOR DE REGLARE AUTOMATĂ

Din punctul de vedere al stabilităţii se deosebesc:

— *SRA* la care se poate realiza un regim staţionar, şi care se numesc *sisteme stabile*;

— *SRA* la care mărimea de ieşire x_e are o variaţie care nu este controlată de mărimea de intrare sau sistemele de reglare la care mărimea de ieşire fie că execută oscilaţii autoîntreţinute în jurul unei valori staţionare $x_{e\,st}$ fie că se depărtează continuu de aceasta, care se numesc *sisteme instabile*.

Stabilitatea unui SRA reprezintă stabilitatea procesului tranzitoriu al acestuia. Pentru a vedea dacă un sistem de reglare automată este dinamic stabil, trebuie analizat răspunsul $x_e(t)$ (deci variaţia parametrului reglat) pentru o variaţie la intrarea *SRA*. Deci: un sistem de reglare automată este stabil dacă, după ce îşi părăseşte starea de echilibru stabil, ca urmare a unei variaţii la intrare, el tinde să revină în regim staţionar odată ce variaţia intrării încetează.

În figura 17.11, *a-e* sînt reprezentate diferitele tipuri de procese tranzitorii în *SRA* stabile şi nestabile. Procesul este descris pentru timpul $t > t_1$ (timpul t_1 — la care se manifestă variaţia la intrare sau perturbaţia).

○ **Observaţie**:

Se poate spune că răspunsul x_e al unui *SRA* este compus din două componente:

— o *componentă liberă* (sau *tranzitorie*) $x_{el}(t)$, variabilă în timp, care caracterizează regimul tranzitoriu al *SRA* şi generează de fapt, eroarea tranzitorie ε_{tr} (fig. 17.11 *a-e*);

— o *componentă forţată* x_{ef} constantă în timp, care caracterizează valoarea staţionară a răspunsului x_e şi constituie partea care rămîne din x_e, după ce, eventual, x_{el} a dispărut.

Se poate deci scrie că:

$$x_e(t) = x_{el}(t) + x_{ef}. \tag{17.13}$$

Rezultă că un *SRA* este stabil atunci cînd componenta liberă a răspunsului $x_{el}(t)$ se anulează după un interval de timp acceptabil de la

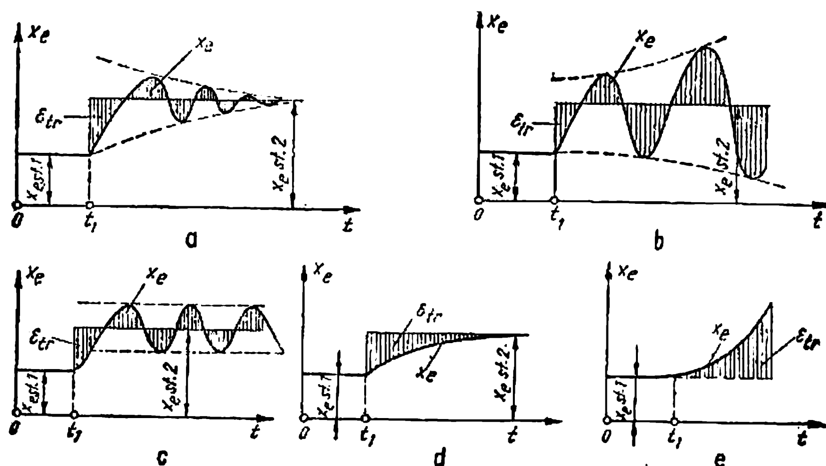


Fig. 17.11. Diferite tipuri de procese tranzitorii în *SRA*:
a — proces amortizat; *b* şi *c* — procese instabile (cazul *c* — limită de stabilitate); *d* — proces aperiodic monoton stabil; *e* — proces aperiodic monoton nestabil.

momentul variaţiei mărimii de intrare (sau de la apariţia unei perturbaţii limitate oarecare, care modifică intrarea *SRA*).

Astfel, condiţia matematică de stabilitate a unui *SRA* se poate scrie:

$$\lim_{t\to\infty} x_e(t) = x_{ef}. \qquad (17.14)$$

La sistemele instabile, componenta liberă nu se anulează şi poate fi aperiodică şi crescătoare sau oscilatorie, cu amplitudinea constantă sau crescătoare.

Pentru un astfel de *SRA* instabil se poate scrie că:

$$\lim_{t\to\infty} x_e(t) \neq x_{ef}. \qquad (17.15)$$

Stabilitatea unui SRA este determinată de:

— *stabilitatea proprie a obiectului reglării;*

— *stabilitatea regulatorului automat.*

Obiectul reglării (instalaţia tehnologică, procesul) este în general stabil prin însăşi natura sa, pentru a funcţiona sau a se desfăşura normal şi fără introducerea reglării automate. Din această cauză se spune că obiectul reglării se bucură de aşa-numita stabilitate proprie sau autostabilitate. În ceea ce priveşte regulatoarele automate ele sînt evident, în general, construite în vederea unei funcţionări stabile, însă pentru anumiţi parametri de acordare ele pot deveni instabile, ceea ce poate

influența SRA în ansamblu. Din această cauză, în domeniul automatozărilor noțiunea de stabilitate, respectiv de instabilitate, se referă la ansamblul sistemului de reglare (regulator + obiectul reglării).

Există o serie de criterii (algebrice, grafice, grafoanalitice), după care se poate determina, în practică, cu suficientă precizie, stabilitatea sau instabilitatea unui *SRA*.

REZUMAT

Reglarea automată reprezintă un proces (funcție de automatizare) în care o mărime (parametrul reglat) este adusă la o valoare prescrisă (de consemn) și este menținută la această valoare prin intervenții permanente din afară, pe bază de măsurări.

Elementele unui SRA sînt: obiectul reglării (instalația sau procesul reglat), regulatorul automat, elementul de comparație, elementul de măsurat și elementul de execuție.

Se numește *sistem de reglare automată* (prescurtat SRA) ansamblul format din obiectul reglării, regulatorul automat, elementul de comparație, elementul de măsurat și elementul de execuție, realizat în scopul reglării automate a unui anumit proces sau parametru de proces.

Se numește *schemă funcțională* a unui *SRA* acea schemă în care se indică toate elementele componente ale *SRA*, destinația lor și legăturile funcționale între acestea.

Răspunsul $x_e(t)$ al unui *SRA* pentru o variație treaptă unitară la intrarea lui se numește răspuns indicial (sau funcție indicială). Răspunsul unui sistem de reglare automată la o variație impuls unitar la intrare se numește funcție pondere.

Performanțele principale impuse în funcționarea unui *SRA* sînt: EROAREA STAȚIONARĂ, SUPRAREGLAREA, DURATA REGIMULUI TRANZITORIU și STABILITATEA FUNCȚIONĂRII.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Ce este reglarea automată:
   a) reglarea automată este acel proces prin care se comandă acționarea unui motor?
   b) reglarea automată este procesul în care o mărime este adusă la valoarea prescrisă și este menținută la această valoare, fără intervenția omului?
   c) reglarea automată este transmiterea la distanță a rezultatelor unei măsurări?

2. Ce reprezintă o buclă de reglare:
   a) bucla de reglare este un circuit închis, în care s-a introdus o sursă de tensiune?
   b) bucla de reglare este circuitul închis format de legătura directă şi legătura inversă a unui *SRA?*
   c) bucla de reglare este legătura care înglobează elementul de comparaţie, regulatorul şi elementul de execuţie?
3. Care sînt funcţiile de intrare tip ale unui SRA:
   a) funcţiile de timp monoton crescătoare?
   b) funcţiile de timp derivabile în origine (la $t = 0$)?
   c) funcţiile de timp reprezentînd variaţiile treaptă unitară, rampă unitară şi impuls unitar?
4. Ce reprezintă „răspunsul indicial" al unui *SRA:*
   a) răspunsul pentru o variaţie treaptă unitară la intrarea *SRA?*
   b) răspunsul pentru o variaţie impuls unitar la intrarea *SRA?*
   c) variaţia în timp a mărimii reglate, indiferent de variaţia de la intrarea *SRA?*
5. Care sînt principalele performanţe impuse funcţionării SRA:
   a) eroarea staţionară, suprareglarea, durata regimului tranzitoriu, timpul de creştere, stabilitatea?
   b) abaterea (sau eroarea la un moment dat), amplitudinea oscilaţiilor, coeficientul de transfer şi perturbaţia?
   c) amplificarea, functia de transfer, viteza de creştere şi eroarea staţionară?

CAPITOLUL 18

SISTEME TELEMECANICE

A. NOŢIUNI GENERALE, DEFINIŢII ŞI FUNCŢIUNILE SISTEMELOR TELEMECANICE

Telemecanica reprezintă *totalitatea mijloacelor tehnice prin care se asigură transmiterea la distanţă a unei informaţii* (a unei măsurări, a unei comenzi sau a unui semnal).

Pentru a realiza măsurarea, comanda şi semnalizarea fără participarea omului sau cu participarea operatorului uman numai în anumite faze ale transmisiei informaţiei, **dispozitivele telemecanice** *transformă informaţia în semnale şi le transmite la distanţă, pe linii de transmisie.* Conducerea prin telemecanizare presupune, practic, o automatizare, totală sau parţială, a instalaţiilor sau proceselor conduse. *Ansamblul dispozitivelor telemecanice* utilizate formează un **sistem telemecanic.**

Se pot enumera destule procese de producţie în care este necesară utilizarea telemecanicii. Astfel de procese sînt:

— procesele de producţie complexe, în care diferite părţi sau instalaţii funcţionează în strînsă legătură, deşi sînt situate la distanţe mari între ele (cazul centralelor electrice, staţiilor de transformare şi liniilor de transport şi distribuţie din sistemul energetic, al sistemelor de irigaţie, al cîmpurilor de sonde şi al reţelelor de distribuţie de gaze naturale etc.);

— procesele de producţie la care se impune conducerea de la distanţă, fie din considerente de securitate şi protecţie a muncii, fie din imposibilitatea situării omului în locul în care se desfăşoară procesul respectiv (cazul lucrărilor de foraj la mare adîncime, controlul şi comanda funcţionării anumitor instalaţii cu temperaturi ridicate sau scăzute, în mediu radioactiv, la înaltă tensiune, supravegherea şi conducerea de la distanţă a reactorilor nucleari, a zborului rachetelor cosmice şi sateliţilor etc.);

— procesele la care comanda de la distanţă asigură o desfăşurare mai operativă şi un grad sporit de siguranţă în funcţionare (ca, de exem-

plu, automatizarea triajelor de cale ferată, controlul centralizat al circulației feroviare sau rutiere, supravegherea și dirijarea traficului aerian etc.).

Telemecanica a apărut și s-a dezvoltat continuu pe baza progreselor realizate în automatică, electronică, radiotehnică și telecomunicații, în special odată cu folosirea elementelor fără contacte (diode semiconductoare, tranzistoare, tiratroane cu catod rece, elemente feromagnetice cu ciclu de histerezis dreptunghiular ș.a.).

Telemecanica permite realizarea următoarelor **funcțiuni**:

— *telemăsurarea*, adică transmiterea la distanță a rezultatelor unei măsurări (de exemplu, telemăsurarea valorii tensiunii nivelului sau debitului);

— *telecomanda*, adică transmiterea la distanță a unei comenzi (de exemplu, telecomanda pornirii sau opririi unui agregat);

— *telesemnalizarea*, adică transmiterea la distanță a unui semnal (de exemplu, telesemnalizarea unei avarii, telesemnalizarea depășirii unor limite, a poziției închis sau deschis a unui întreruptor etc.).

Sistemele telemecanice de telemăsurare, telecomandă și telesemnalizare asigură comanda totală a diferite instalații sau agregate.

Cînd instalația de telemecanică permite realizarea unei reglări la distanță, se obține o *telereglare* (ca de exemplu, telereglarea puterii unor centrale electrice).

În figura 18.1 este arătată principial telemecanizarea unui sistem energetic. Astfel, pentru asigurarea producerii și distribuției raționale a energiei electrice, deci pentru buna funcționare a sistemului energetic în ansamblu, este necesar să se centralizeze într-un punct de comandă, sau punct dispecer, controlul și comanda întregului sistem.

Punctul dispecer este echipat cu instalații telemecanice pentru măsurarea de la distanță a anumitor mărimi (electrice sau neelectrice) în diverse puncte ale sistemului energetic, pentru comanda de la distanță a aparatajului și instalațiilor principale și pentru semnalizarea situației acestora la punctul central de comandă.

Legătura dintre punctul de comandă sau dispecer (fig. 18.2) și instalațiile controlate sau comandate prin mijloace telemecanice se realizează pe cale electrică, printr-o **linie de transmisie.** Această legătură se poate realiza, fie *prin conductoare electrice* (linie de telecomunicație prin fire sau linie de transport de energie electrică), fie *fără conductoare de legătură* (canal de telemecanică prin radio).

La rîndul lor, liniile sau canalele de telemecanică prin fire pot fi:

— *circuite fizice propriu-zise* (de exemplu o linie bifilară, prin care trece semnalul de telemecanică, fără a fi supus la transformări intermediare pe parcursul dispecer-obiect telemecanizat);

— *canale de curenți purtători pe circuite fizice*, care asigură transmiterea concomitentă în linie a mai multor semnale sinusoidale „purtătoare“, fiecare din acestea fiind „modulat“ în amplitudine sau frecvență de semnalele telemecanice (de exemplu, semnale telemecanice care cuprind în spectru frecvențe pînă la 80 Hz modulează 24 semnale „subpurtătoare“ cuprinse între 400 și 3 200 Hz; acestea modulează, la rîndul

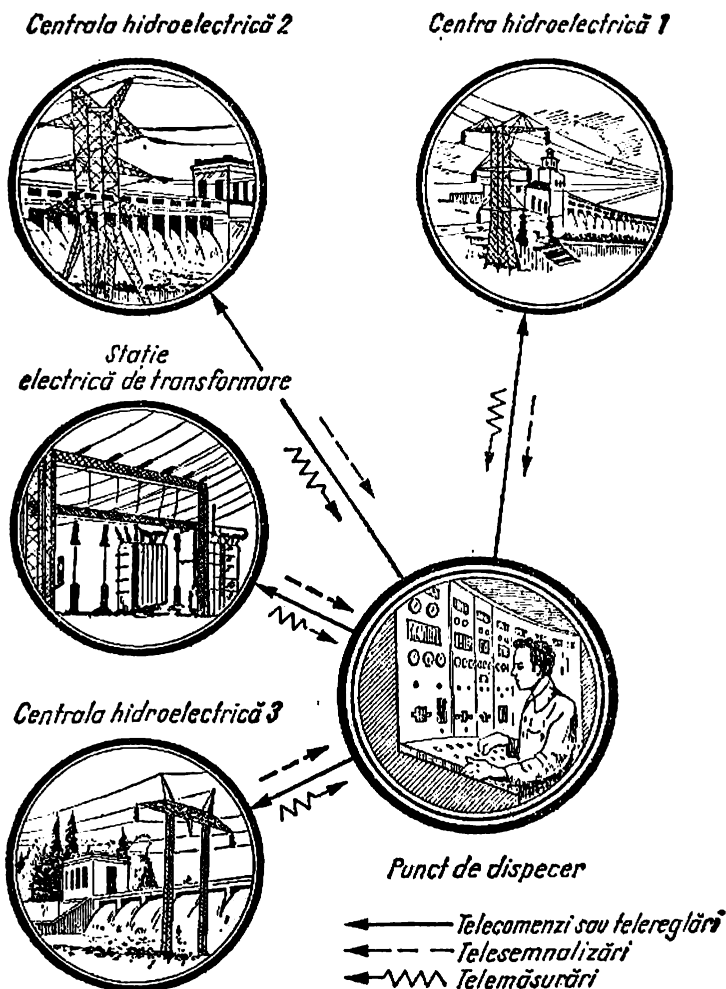


Fig. 18.1. Telemecanizarea unui sistem energetic.

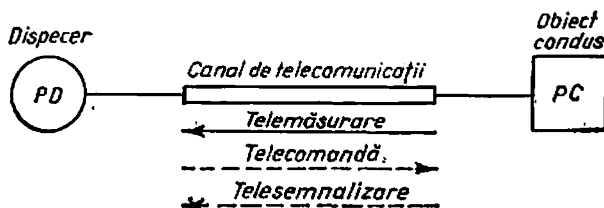


Fig. 18.2. Realizarea legăturii dispecer-obiecte telemecanizate.

lor, o purtătoare de zeci sau sute de kiloherţi, rezultînd o modulaţie în două trepte).

Pentru a nu se scumpi instalaţiile prin construirea liniilor de transmisie între multe surse şi mulţi receptori, linia se foloseşte multiplu cu ajutorul **canalelor de transmisie telemecanică.** De aceea, canalele de curenţi purtători (ca şi canelele radio) sînt preferate şi utilizarea lor s-a impus din ce în ce mai mult. Un argument în plus: curenţii purtători pot fi transmişi şi pe liniile de înaltă tensiune de transport şi distribuţie a energiei electrice, linii care sînt gata construite şi se întind pe întreg cuprinsul ţării.

B. STRUCTURA ŞI CLASIFICAREA APARATURII DE TELEMECANICĂ

Orice sistem de telemecanică este alcătuit din cel puţin *două subansamble* sau *terminale* — cel de la postul dispecer şi cel (sau cele) de la postul (sau posturile) comandat la distanţă, legate între ele prin canale de telecomunicaţie (sau de telemecanică).

În cazul în care se transmite numai informaţia de control (telesemnalizarea sau telemăsurarea), postul controlat reprezintă totodată postul de emisie a semnalelor iar postul de comandă (sau dispecer) — postul de recepţie. Dacă se transmite numai informaţia de comandă, emiţătorul se află la postul de comandă (sau dispecer) iar receptorul (sau receptoarele) la postul comandat.

În situaţia în care se prevede atît transmiterea de informaţii de control, cît şi de informaţii de comandă, ambele terminale trebuie să conţină atît emiţătorul, cît şi receptorul de semnale telemecanice.

În funcţie de modul de transmitere în timp a semnalelor telemecanice, deosebim *transmiterea permanentă a semnalelor*, *transmiterea periodică sau ciclică* şi *transmiterea intermitentă* în timp a semnalelor.

Aceasta din urmă se poate efectua fie în mod automat, în momentul apariţiei unei schimbări în desfăşurarea procesului tehnologic condus

de la distanță (de exemplu, la apariția unei avarii), fie la cerere, la comanda dispecerului.

● În figura 18.3 este reprezentat **cazul general al structurii aparaturii de telemecanică.** S-a notat cu *A* terminalul situat la dispecer, cu $B_1, B_2 \dots B_n$ terminalele de la obiectele (sau posturile) telemecanizate și cu $C_1, C_2 \dots C_n$ — canalele de telemecanică.

Atît la dispecer, cît și la posturile controlate, există instalații de emisie și instalații de recepție a semnalelor. Cu toate că aparatura de telemecanică prezintă o mare diversitate și un grad de complexitate sporit, se pot distinge la structura generală a celor două terminale următoarele **blocuri funcționale** (v. fig. 18.3):

— *blocuri de conectare externă 1*, care asigură introducerea informației în aparatura de telemecanică pentru emisie (de exemplu, traductoare pentru telemăsurări, butoane pentru telecomenzi, bloc-contacte pentru telesemnalizări etc.) și pentru extragerea informației la recepție (de exemplu, relee de execuție pentru telecomenzi, sisteme de afișare pentru telemăsurări, becuri pentru telesemnalizări etc.);

— *blocuri de prelucrare a informației 2*, care asigură prelucrarea automată a informației obținute la ieșirea blocurilor de conectare externă, ca de exemplu convertoare de semnal, circuite logice etc.;

— *blocuri energetice 3*, care înglobează amplificatoarele și sursele de energie;

— *blocuri de memorizare 4* sau *memorii*, în care informația (semnalul telemecanic) este înmagazinată în timpul transmisiei altei informații, în timpul executării unor operații de prelucrare etc.;

— *blocuri de organizare automată a funcționării 5*, care realizează comanda după un program dinainte stabilit a diferitelor operații sau

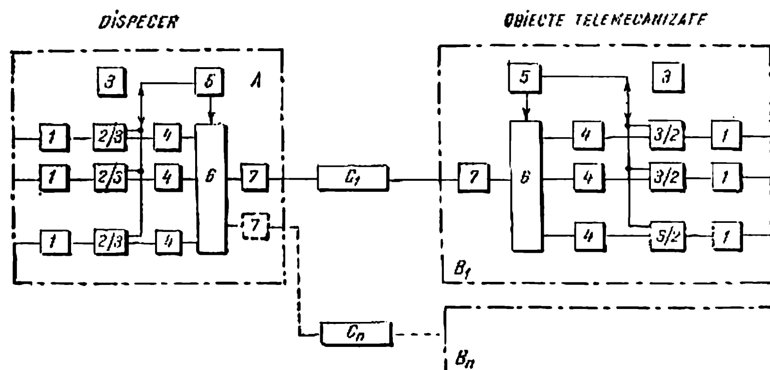


Fig. 18.3. Structura aparaturii de telemecanică.

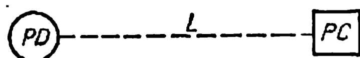


Fig. 18.4. Structură telemecanică cu obiecte concentrate.

funcţiuni telemecanice, restructurarea internă la trecerea de la o funcţiune la alta şi de la transmiterea unei informaţii, la transmiterea altei informaţii; tot aceste blocuri mai pot îndeplini şi funcţiuni de protecţie, de exemplu în cazul unor regimuri anormale de funcţionare sau avarii etc.;

— *blocuri de separare 6*, care permit transmiterea de informaţii complexe referitoare la mai multe obiecte telemecanizate sau la mai multe stări şi funcţiuni ale aceluiaşi obiect. Blocurile de separare realizează, de exemplu, separarea în timp sau separarea în frecvenţă a semnalelor emise pe un circuit unic, la recepţionarea lor efectuîndu-se conversia semnalelor în sens invers;

— *blocuri de cuplare internă 7*, care realizează cuplarea cu canalul de telecomunicaţie (C_1, $C_2 \ldots C_n$). La punctul de emisie aceste blocuri asigură ca semnale telemecanice să fie debitate în forma şi la nivelul de putere necesar iar la punctul de recepţie asigură reconstituirea semnalelor distorsionate în urma transmisiei şi le prezintă în forma necesară pentru prelucrarea în cadrul celorlalte blocuri funcţionale, din structura aparaturii de telemecanică de la postul controlat.

● În funcţie de modul diferit de amplasare a obiectelor telemecanizate în raport cu punctul de dispecer, **structura reţelei de canale de telecomunicaţii variază.** Se deosebesc astfel:

— *structuri telemecanice cu obiecte concentrate* (fig. 18.4) în cazul în care obiectele (sau posturile) controlate *PC* sînt amplasate teritorial la mică distanţă de postul dispecer *PD*), astfel încît se poate utiliza o aparatură de telemecanică unică, cu două terminale (de exemplu telemecanizarea instalaţiilor din centrale electrice, staţii de transformare etc.);

— *structuri telemecanice cu obiecte dispersate*, în cazul în care distanţele între posturile controlate sau comandate sînt mari şi necesită legături telemecanice distincte cu postul de dispecer. După modul de amplasare a obiectelor telemecanizate se disting: structuri telemecanice cu obiecte dispersate liniar (fig. 18.5), cu obiecte dispersate arborescent (fig. 18.6) şi cu obiecte dispersate radial (fig. 18.7).

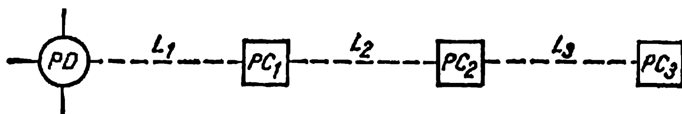


Fig. 18.5. Structură telemecanică cu obiecte dispersate liniar.

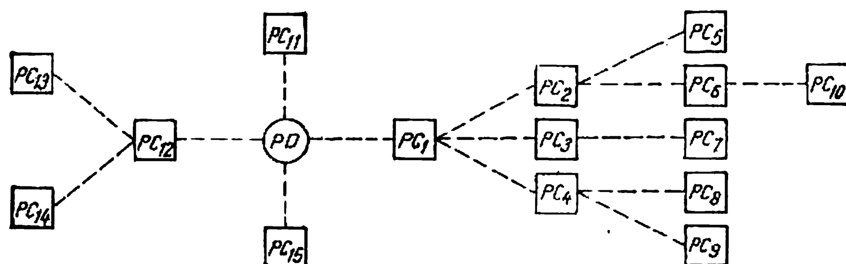


Fig. 18.6. Structură telemecanică cu obiecte dispersate arborescent.

Structurile telemecanice cu obiecte dispersate se întîlnesc frecvent (cazul cîmpurilor de sonde telemecanizate, a rețelelor de irigații, de transport și distribuție a gazelor naturale, telemecanizarea transporturilor feroviare etc.).

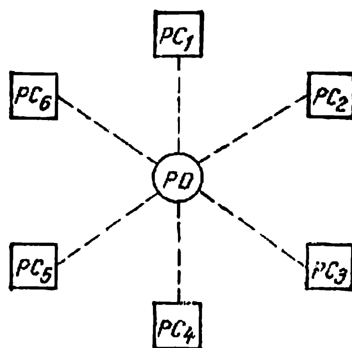


Fig. 18.7. Structură telemecanică cu obiecte dispersate radial.

C. SISTEME DE TELEMĂSURARE

Aparatele obișnuite de măsurat nu permit transmiterea rezultatelor măsurării la mari distanțe, fără intervenția unor dispozitive și instalații speciale. Pentru telemăsurarea unei anumite mărimi fizice (curent, tensiune, debit, presiune, nivel, temperatură etc.) este necesar ca mărimea măsurată să fie convertită într-o mărime auxiliară, de obicei curent sau tensiune electrică aptă de a fi transmisă la distanță prin linia de telecomunicație, care leagă punctul unde se execută măsurarea cu locul unde trebuie transmisă valoarea măsurată. La celălalt capăt al liniei de telecomunicație, această mărime auxiliară este din nou convertită în indicații ale unui aparat de măsurat. Valorile curentului sau tensiunii transmise prin linie sînt foarte mici (cîțiva miliamperi, respectiv cîțiva volți).

● **În funcție de variațiile mărimii măsurate** se modifică în mod corespunzător caracteristicile unor impulsuri electrice transmise prin linie *(sisteme cu impulsuri)*, sau frecvența unui curent alternativ care circulă prin linia de telecomunicație *(sisteme de frecvență)*.

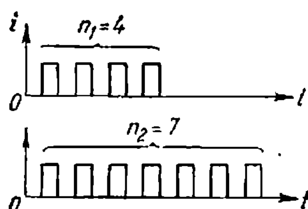


Fig. 18.8. Sisteme de telemăsurare bazate pe numărul impulsurilor.

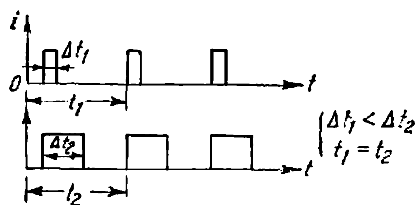


Fig. 18.9. Sisteme de telemăsurare bazate pe durata impulsurilor.

● **După modul de obținere a informației** (mesajului) **de telemăsurare,** aceasta poate fi *telemăsurare continuă* (pentru acei parametri cu variație rapidă, asupra cărora este necesară o informare continuă) sau *telemăsurare la cerere* (pentru acei parametri cu variație lentă sau relativ lentă ale căror valori telemăsurate se obțin „la cerere", în anumite momente — de exemplu, temperatura unui fluid).

Parametrii impulsurilor care se pot modifica sub acțiunea unui mesaj sînt: polaritatea, amplitudinea, durata, poziția sau frecvența. Astfel, la sistemele cu impulsuri funcționarea dispozitivelor de telemăsurare se poate baza: pe numărul impulsurilor (fig. 18.8), pe durata impulsurilor (fig. 18.9), pe frecvența impulsurilor (fig. 18.10) sau pe o anumită codificare a impulsurilor (fig. 18.11).

În figura 18.12 este prezentată **schema pentru telemăsurarea nivelului unui lichid realizată cu ajutorul unui dispozitiv bazat pe numărul de impulsuri.** La acest sistem, fiecărei valori a mărimii măsurate îi corespunde un număr de impulsuri de curent continuu transmise prin linia de telecomunicație. Cînd nivelul lichidului variază, plutitorul se ridică sau coboară și cablul *2* rotește scripetele *3* cu un anumit unghi, proporțional cu variația de nivel. Odată cu scripetele se învîrtește și roata dințată *4*. Fiecare dinte al roții *4* antrenează pîrghia de contact *5*;

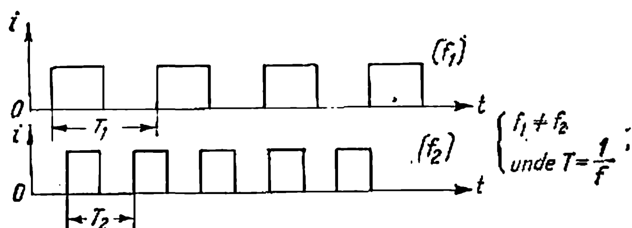


Fig. 18.10. Sisteme de telemăsurare bazate pe frecvența impulsurilor.

aceasta execută o deplasare la dreapta sau la stînga poziției de echilibru și închide unul sau altul din contactele *6*, în funcție de sensul de rotație al scripetelui *3*. Dacă, de exemplu, nivelul lichidului din rezervor

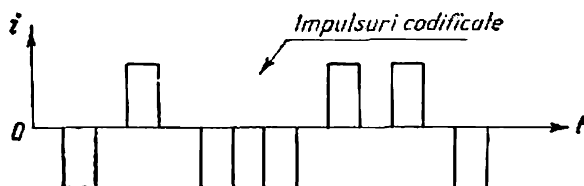


Fig. 18.11. Sisteme de telemăsurare bazate pe codificarea impulsurilor.

crește scripetele se rotește în sensul acelor de ceasornic și pîrghia *5* închide contactul din dreapta, determinînd transmiterea unui impuls pozitiv de curent, de la sursa E_1, prin linia *L*.

Impulsul pozitiv excită bobina releului polarizat *RP* care închide contactul *a*, prin care se aplică tensiunea bateriei E_2 la bobina electromagnetului din stînga EM_1. Odată cu atragerea armăturii electromagnetului, clichetul c_1 va deplasa roata cu clichet *7* și acul indicator *8* cu o diviziune spre partea dreaptă a scalei *9*, gradată în unități de nivel. Dacă nivelul scade, pîrghia *5* închide contactul *6* din stînga: prin linia *L* va fi trimis un impuls de curent negativ, care va determina închiderea

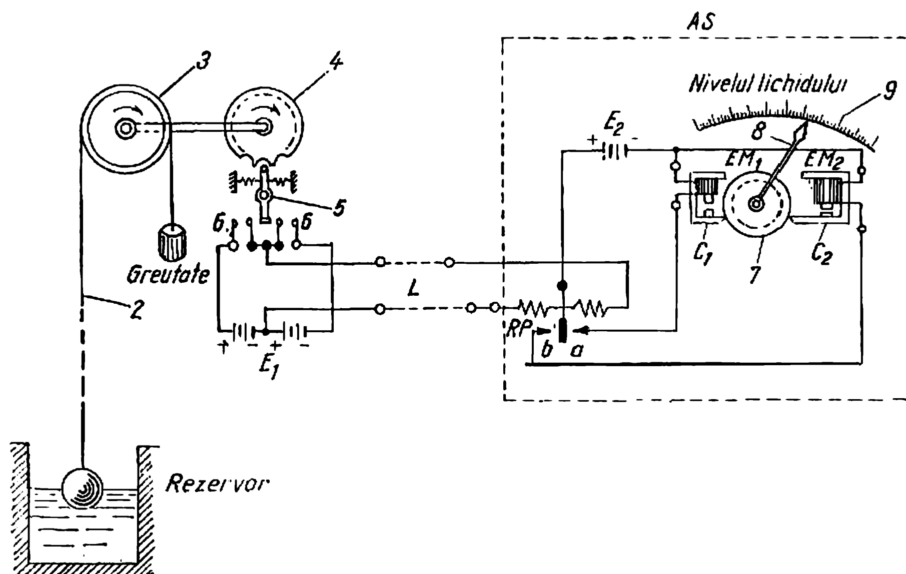


Fig. 18.12. Schemă pentru telemăsurarea nivelului unui lichid.

contactului *b* a lui *RP*, conectarea electromagnetului EM_2 şi deplasarea indicatorului cu o diviziune spre stînga scalei *9*.

La o variaţie însemnată a nivelului apei în rezervor, dispozitivul va transmite prin linie mai multe impulsuri de curent, pozitive sau negative, care vor deplasa acul indicator cu un număr corespunzător de diviziuni.

Sistemul descris prezintă însă dezavantajul că în cazul unui deranjament pe linie aparatul secundar de măsurat va indica mereu acelaşi nivel; la lichidarea unui deranjament trecător, indicaţia aparatului secundar diferă de valoarea corectă a nivelului printr-o eroare corespunzătoare numărului de impulsuri care s-au pierdut în timpul întreruperii legăturii.

D. SISTEME DE TELECOMANDĂ

Datorită căderii de tensiune în conductoarele de legătură precum şi pierderilor prin disiparea de energie calorică, comanda locală prin cabluri de la un pupitru de comandă la obiectele comandate dă rezultate numai la distanţe mici, care nu depăşesc cîteva sute de metri. Pentru distanţe mari se folosesc sisteme de telecomandă.

Instalaţiile de telecomandă (cumulate de obicei cu cele de telesemnalizare) cu care sînt prevăzute punctele de dispecer, servesc atît pentru comandarea de la distanţă a anumitor instalaţii principale, cît şi pentru controlul îndeplinirii comenzilor, prin semnalizările recepţionale la punctul de dispecer asupra situaţiei instalaţiilor principale din sistem.

● În figura 18.13 este reprezentat schematic **echipamentul dispozitivelor de telecomandă-telesemnalizare instalat la punctul de comandă**

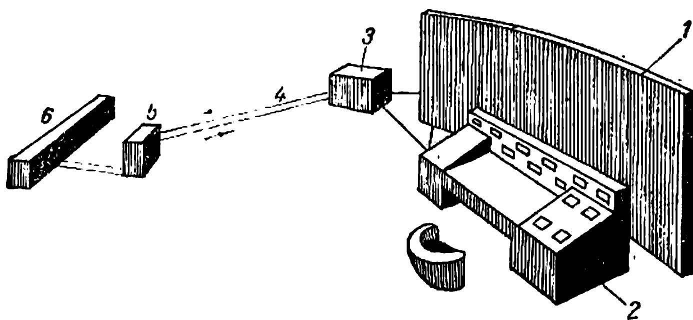


Fig. 18.13. Echipamentul de telecomandă-telesemnalizare pentru telemecanizarea unui sistem energetic.

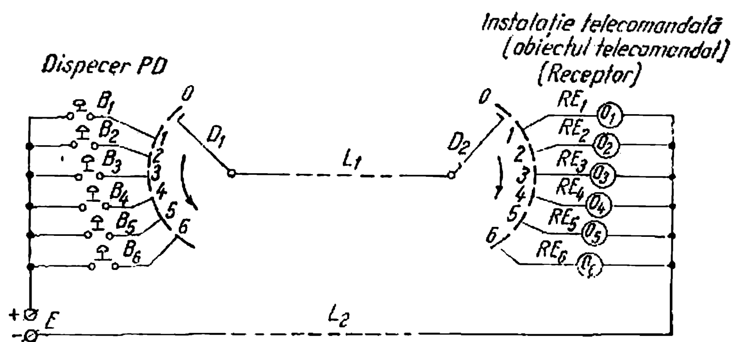


Fig. 18.14. Schema dispozitivului de selecţie cu distribuitoare rotative.

(dispecer) şi la **obiectul comandat, în cadrul unui sistem energetic.** La punctul dispecer se găsesc: panoul *1* (cu schema sistemului comandat), pupitrul de comandă *2* şi dulapurile *3* cu aparatajul de telecomandă şi telesemnalizare.

Punctul dispecer este legat de obiectul comandat prin linia de telecomunicaţii *4*. La obiectul telemecanizat se găsesc: dulapurile *5*, cu aparatajul de telecomandă şi telesemnalizare, precum şi echipamentul telemecanizat *6*.

Pentru ca prin o singură linie de telecomunicaţie să fie telecomandate mai multe instalaţii (obiecte) se montează dispozitive de selecţie, care au rolul de a alege (selecta) semnalele primite prin linie şi de a le repartiza cu precizie instalaţiilor cărora le sînt destinate.

● În figura 18.14 este reprezentată **schema unui dispozitiv de selecţie cu distribuitoare electromagnetice rotative.** Cele două distribuitoare rotative D_1 şi D_2 se rotesc cu aceeaşi viteză şi în acelaşi moment periile lor se găsesc pe aceleaşi contacte (*0*, *1*, *2* ...). La punctul de dispecer *PD* sînt instalate butoanele de comandă B_1, B_2 ... iar la instalaţia telemecanizată se găsesc releele electromagnetice RE_1, RE_2 ... şi obiectele telecomandate O_1, O_2 ... (de exemplu, motoare electrice, întrerupătoare electrice etc.). O singură linie de telecomunicaţie, alcătuită din conductoarele L_1 şi L_2 stabileşte legătura punctului de dispecer cu instalaţia telemecanizată.

Se presupune că O_2 reprezintă un motor electric. Pentru pornirea acestui motor este suficient ca operatorul aflat la punctul de dispecer să apese butonul B_2. În acest fel, atunci cînd periile distribuitoarelor rotative D_1 şi D_2 vor „călca“ pe contactul *2*, se va stabili un circuit electric, prin bobina releului electromagnetic RE_2 şi acesta va comanda printr-un contactor pornirea motorului O_2. Semnalul transmis de la punctul

de dispecer este distribuit numai obiectului căruia îi era destinat (în cazul de față O_2), deoarece la apăsarea butonului B_2, nici un alt circuit alimentat de bateria E nu se poate închide.

Numărul de obiecte care pot fi telecomandate coincide cu numărul contactelor cu care sînt prevăzute cele două distribuitoare rotative. Schema prezentată se mai numește *schemă de telecomandă — telesemnalizare „cu alegere"*.

○ **Observație:**

În ultimii ani au fost realizate instalații telemecanice electronice, cu comutație statică. La construcția echipamentelor moderne de telemecanizare sînt folosite tot mai mult dispozitivele cu tranzistoare și cu miezuri de ferită, cu distribuitoare electronice (cu fascicul liniar sau radial) și cu semiconductoare, circuite integrate etc.

În țara noastră, Întreprinderea pentru raționalizarea și modernizarea instalațiilor energetice (ICEMENERG) și IEA — București fabrică elemente și instalații de telemecanizare realizate cu elemente statice.

Astfel, se pot cita: echipamentul pentru automatizarea și telemecanizarea centralelor hidroelectrice — de pildă, din hidrocentrala Stejarul (Bicaz) se conduc prin telemecanizare alte 11 obiective energetice din „aval Bistrița" (centralele hidroelectrice Pîngărați, Vaduri, Roznov ș.a.); echipamentul cuprinde: dispozitive pentru convertirea, memorizarea și repartizarea automată a consemnului de putere activă sau reactivă, dispozitive pentru reglarea automată a deschiderii vanelor, pentru reglarea automată a excitației generatoarelor, pentru reglarea automată a nivelului în bazinele de liniștire, pentru pornirea sau oprirea automată a turbinelor etc.); echipamentele de telemecanică cu elemente statice (variantele: „TESECIC" — pentru telesemnalizare ciclică, „TELECIN" — pentru telesemnalizare și telesemăsurare ciclică numerică, „TELESTAT" — pentru telecomandă la cerere, telesemnalizare și telemăsurare ciclică numerică, „TELEMARC" — pentru telecomandă, telesemnalizare, telemăsurare și telereglare numerică); diverse echipamente de telemecanică cu circuite integrate etc.

REZUMAT

Telemecanica reprezintă totalitatea mijloacelor tehnice prin care se asigură transmiterea la distanță a unei informații (a unei măsurări, a unei comenzi sau a unui semnal). Ea este acea ramură a științei și tehnicii care se ocupă cu metodele și mijloacele tehnice de stabilire a unor legături corespunzătoare între mai multe instalații tehnologice în interdependență funcțională și un punct de conducere (sau dispecer) al sistemului în ansamblu.

Telemecanica permite realizarea următoarelor *funcțiuni:* (telemăsurarea, telecomanda, telesemnalizarea și telereglarea).

Legătura dintre punctul de comandă (sau dispecer) și instalațiile (obiectele) controlate sau comandate prin mijloace telemecanice se realizează pe cale electrică, printr-o *linie de transmisie* (numită și canal de telemecanică), fie prin conductoare electrice, fie prin radio.

Sistemele de telemăsurare cu acțiune la distanțe mari se realizează fie ca sisteme cu impulsuri, fie ca sisteme de frecvență. La sistemele cu impulsuri, funcționarea dispozitivelor de telemăsurare se poate baza pe numărul impulsurilor, pe durata impulsurilor, pe frecvența impulsurilor sau pe o anumită codificare a impulsurilor.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Ce este telesemnalizarea:
   a) transmiterea la distanță a unei comenzi?
   b) transmiterea la distanță a unei informații calitative?
   c) transmiterea la distanță a rezultatelor unei măsurări?
2. Cum se realizează legătura între postul de comandă (sau dispecer) și posturile telemecanizate:
   a) pe cale electrică, printr-o linie de telecomunicație (cu fir sau prin radio)?
   b) prin cuplaj magnetic?
3. Ce sînt blocurile de memorizare (sau memoriile) din structura unui terminal de telemecanică:
   a) sînt blocurile care înglobează sursele de putere și amplificatoarele?
   b) sînt blocurile care comandă diferitele operații sau funcțiuni telemecanice, precum și ordinea în care se execută acestea?
   c) sînt blocurile în care informația (semnalul telemecanic) este înmagazinată în timpul transmisiei altei informații, în timpul prelucrării altor semnale etc.?

CAPITOLUL 19

EXEMPLE DE PROCESE INDUSTRIALE AUTOMATIZATE

A. NOŢIUNI GENERALE

Procesele industriale sînt de o mare diversitate atît din punctul de vedere al substanţelor ce intervin, cît şi ca formă, dimensiuni şi mod de operare. Acest lucru impune o mare diversitate de sisteme de automatizare adecvate proceselor respective.

Trebuie observat faptul că, practic, pentru acelaşi proces tehnologic se pot imagina mai multe moduri de automatizare, după cum diverse procese tehnologice din domenii diferite pot fi automatizate similar; de exemplu, acelaşi sistem de reglare automată a temperaturii se poate întîlni în industriile: chimică, energetică, uşoară, alimentară etc.

Procesele industriale automatizate se pot clasifica în mai multe categorii, în funcţie de fenomenele fizice care le însoţesc; astfel se disting:

— *procese cu transfer de masă* (material);

— *procese cu transfer de energie;*

— *procese cu transfer de masă şi energie.*

Această ultimă categorie este cea mai des întîlnită.

În cele ce urmează vor fi prezentate principial cîteva exemple de automatizări (reglare, comandă, măsurare etc.) din diverse domenii industriale care, aşa cum s-a arătat, se pot aplica şi la alte procese din alte domenii.

B. AUTOMATIZĂRI ÎN INDUSTRIA CHIMICĂ

1. REGLAREA AUTOMATĂ A REACŢIEI DE RETROADIŢIE

În procesul de fabricare a unor solvenţi organici se foloseşte un procedeu de reacţie prin retroadiţie, care se desfăşoară într-un reactor (fig. 19.1). Reacţia se produce în interiorul reactorului, în care unul din-

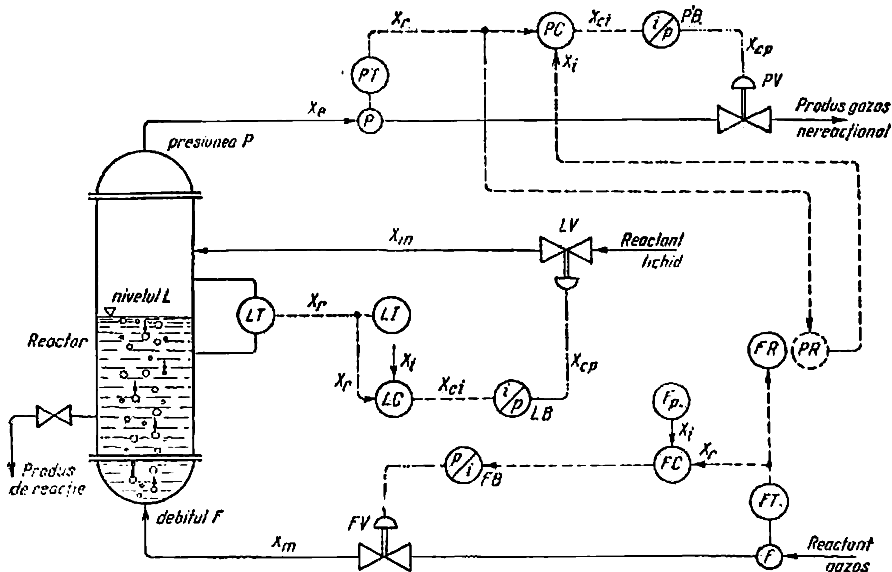


Fig. 19.1. Reglarea automată a reacției de retroadiție.

tre reactanți — în fază lichidă — este introdus prin intermediul unui sistem de reglare automată a nivelului (L), iar cel de-al doilea reactant — în stare gazoasă — este introdus printr-un sistem de reglare automată a debitului (F) pe la partea inferioară a reactorului. În sfîrșit, produsul nereacționat este evacuat prin intermediul unui sistem de reglare automată a presiunii (P) pe la partea superioară a reactorului, urmînd a fi recuperat într-o altă fază a procesului.

● **Reglarea automată a nivelului** L se realizează cu ajutorul regulatorului LC, care compară mărimea de consemn X_i cu mărimea de reacție X_r (v. cap. 14) obținută de la traductorul diferențial de presiune LT (v. cap. 11). Mărimea electrică de comandă X_{ci} este aplicată convertorului electropneumatic LB, obținînd mărimea de comandă pneumatică X_{cp} care acționează asupra elementului de execuție LV. Acest element, care este de fapt o vană prevăzută cu motor pneumatic (capsulă manometrică cu membrană) — v. cap. 13 —, comandă mărimea de execuție X_m care reprezintă debitul de reactant lichid, reglînd implicit nivelul L al lichidului. Aparatul indicator LI racordat la mărimea de reacție X_r de la traductorul LT, afișează valoarea instantanee a nivelului L.

● **Reglarea automată a debitului** F **de reactant gazos** se realizează printr-o buclă de reglare similară celei precedente, folosind traductorul

de debit *FT*, regulatorul *FC* (care primeşte mărimea de consemn X_i de la elementul de programare F_p), convertorul electropneumatic *FB* şi elementul de execuţie *FV*. Mărimea de reacţie X_r se aplică şi aparatului înregistrator *FR*.

● **Reglarea debitului de produs gazos nereactat** se realizează pe baza reglării presiunii *P* din partea superioară a reactorului — traductorul de presiune *PT*, regulatorul *PC*, convertorul *PB* şi elementul de execuţie *PV*. Mărimea de reacţie X_r se aplică şi aparatului înregistrator *PR*, care elaborează mărimea de consemn X_i a regulatorului *PC*.

2. AUTOMATIZAREA PROCESULUI DE DISTILARE

Automatizarea unei coloane de distilare (fig. 19. 2) constă în prevederea unor bucle de reglare (*SRA*) independente sau interdependente, care asigură obţinerea unui produs distilat pe baza unei materii prime date.

Distilarea propriu-zisă constă în fierberea materiei prime cu ajutorul unui fierbător folosind abur de încălzire şi condensarea vaporilor de produs distilat (care s-a evaporat la o temperatură prescrisă) cu ajutorul unui condensator de produs de vîrf, folosind un agent de răcire oarecare (de exemplu, apă rece).

Automatizarea coloanei de distilare necesită următoarele **sisteme de reglare automată** *SRA* (fig. 19.2):

— *SRA* a debitului de materie primă (traductorul de debit *FT1*, regulatorul *FC1* şi elementul de execuţie electric *FV1*);

— *SRA* a debitului de abur pentru alimentarea fierbătorului (*FT2* + + *FC2* + *FV2*);

— *SRA* pentru menţinerea constantă a debitului de reflux, care asigură menţinerea unui profil staţionar al compoziţei în interiorul coloanei (*FT3* + *FC3* + *FV3*);

— *SRA* pentru menţinerea constantă a debitului de produs distilat (*FT4* + *FC4* + *FV4*);

— *SRA* pentru menţinerea la valoare constantă a compoziţiei reziduurilor, prin menţinerea constantă a nivelului *L* al materiilor prime (lichide) la baza coloanei de distilare (*LT* + *LC* + *LV*);

— *SRA* pentru menţinerea constantă a presiunii *P* la vîrful coloanei de distilare (cuprinde traductorul *PT* şi regulatorul *PC* a cărui mărime de comandă X_c reprezintă mărimea de intrare X_i a regulatorului *FC2*). Aşadar, pentru masa de material conţinută în coloana de distilare presiunea *P* a vaporilor este reglată indirect prin reglarea cantităţii de energie (căldură) introduse în proces — implicit reglarea temperaturii de vaporizare.

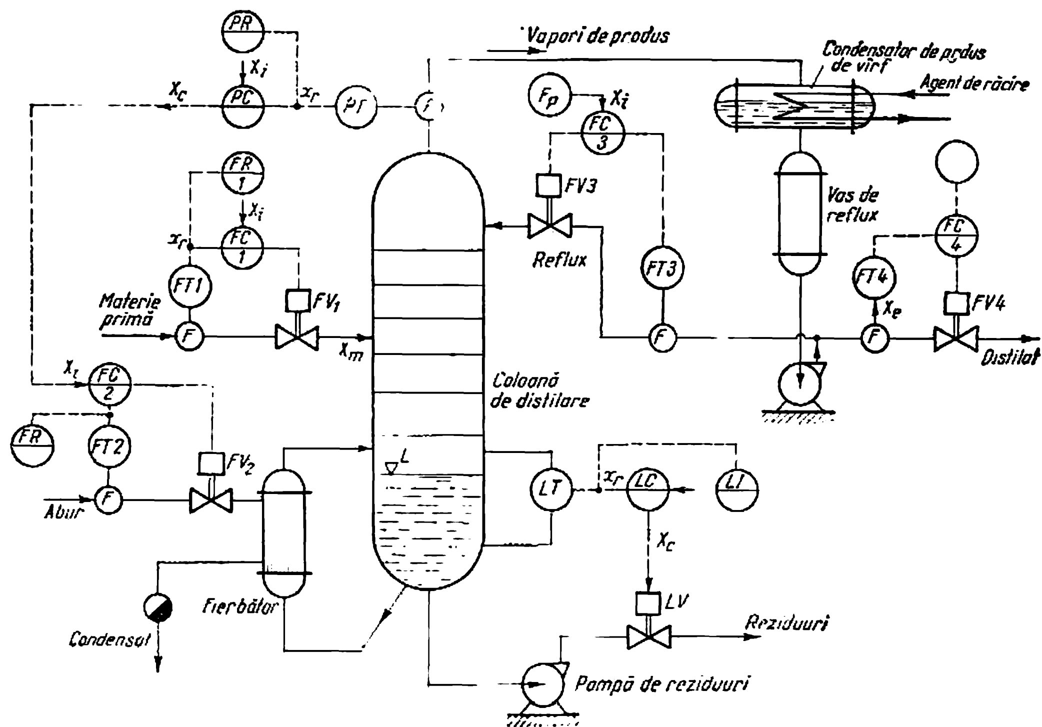


Fig. 19.2. Automatizarea procesului de distilare.

Procesul de producţie are loc în felul următor:

Materia primă care urmează a fi distilată este introdusă cu un debit constant în coloana de distilare. Prin fierbere, produsul uşor conţinut în materia primă parcurge coloana de jos în sus, în contracurent cu produsul distilat introdus în coloană ca reflux şi cu materia primă introdusă pe talerul de alimentare. Vaporii parcurînd coloana, îşi îmbogăţesc compoziţia în produs distilat.

Menţinerea nivelului constant la baza coloanei are ca efect o compoziţie constantă a reziduurilor evacuate.

Sistemele de reglare automată a debitului de materie primă care alimentează coloana, a debitului de distilat produs, a debitului de distilat pe reflux precum şi a nivelului la baza coloanei asigură pe ansamblu menţinerea la o valoare constantă a bilanţului de material din proces.

În scopul asigurării unui bilanţ energetic constant — funcţionarea în regim staţionar — în coloana de distilare, este necesară menţinerea constantă a cantităţii de energie introdusă în şi evacuată din proces. În majoritatea proceselor de distilare din industria chimică se foloseşte aburul ca agent de încălzire. Pentru menţinerea constantă a cantităţii de energie introdusă în procesul de distilare este necesară menţinerea constantă a debitului de abur ce alimentează fierbătorul coloanei. Acest lucru este valabil bineînţeles cu condiţia ca temperatura aburului primit să fie constantă, lucru realizat printr-un *SRA* de temperatură prevăzut la cazanul de abur care se află în afara instalaţiei prezentate. Debitul de energie evacuată din proces prin intermediul vaporilor de produs este asigurat la o valoare constantă prin reglarea presiunii la vîrful coloanei*.

Aceste sisteme de reglare ale procesului de distilare au o largă răspîndire atît în industria chimică, cît şi în cea alimentară şi în petrochimie.

C. AUTOMATIZĂRI ÎN INDUSTRIA CONSTRUCŢIILOR DE MAŞINI

1. SISTEME DE COMANDĂ AUTOMATĂ DUPĂ ŞABLON

Aceste sisteme de automatizare, denumite şi *maşini de copiat*, se aplică de obicei strungurilor paralele, fiind folosite deci în procesul de strunjire a unor piese cu profil dat.

Schema principială a unui asemenea sistem este prezentată în figura 19.3. Instalaţia tehnologică supusă automatizării este un strung din care

* Conform legii gazelor perfecte $PV = RT$, în care R este constanta generală a gazelor ($R = 8310$ J/kmol K) pentru un volum molar dat V, presiunea P este proporţională cu temperatura T (K).

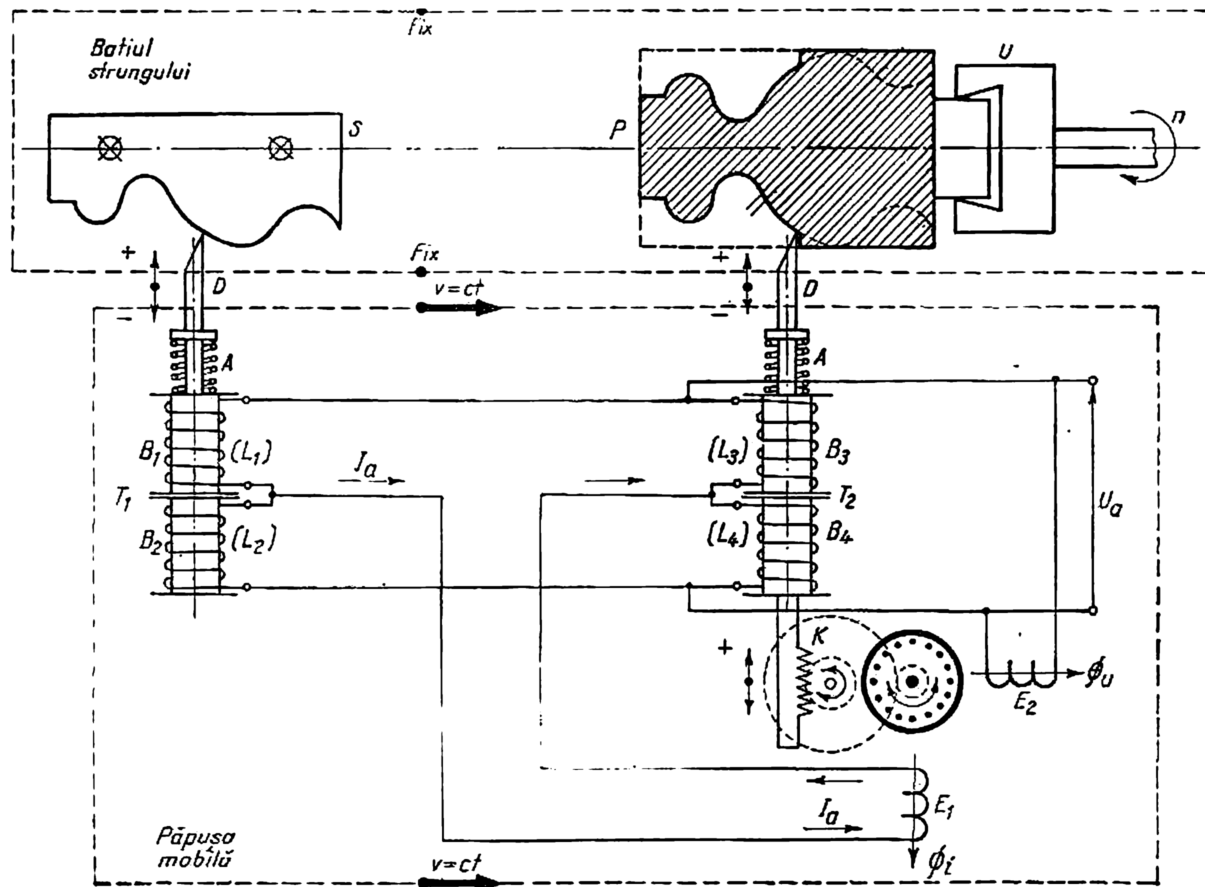


Fig. 19.3. Sistem de comandă automată după şablon.

s-a reprezentat „capul universal" (de prindere) U, care se învîrtește cu turația n și pe care este fixată piesa de prelucrat P. Pe batiul (masa) mașinii se află fixat șablonul S avînd profilul piesei care trebuie prelucrată.

Dispozitivul de automatizare montat pe păpușa mobilă a strungului cuprinde două traductoare identice T_1 și T_2 de tip inductiv diferențial, cu circuit magnetic deschis.

Miezul magnetic al traductorului T_1 este solidar cu un braț „palpator" D care calcă pe conturul șablonului S, fiind apăsat de resortul spiral A. Similar, miezul magnetic al traductorului T_2 este solidar cu circuitul de așchiere C, precum și cu cremaliera K, antrenată prin roți dințate de motorul electric bifazat M. Bobinele B_1 și B_2 ale traductorului T_1 împreună cu bobinele B_3 și B_4 ale traductorului T_2 constituie cele patru brațe ale unei punți de măsurare alimentată într-o diagonală cu tensiunea alternativă U_a. În cealaltă diagonală a punții, prin care circulă curentul de dezechilibru I_a, este intercalată înfășurarea E_1 a motorului bifazat M; cea de-a doua înfășurare E_2 a aceluiași motor este alimentată direct de tensiunea U_a. Motorul se oprește numai cînd curentul I_a este zero, iar sensul său de rotație depinde de faza curentului I_a față de tensiunea U_a.

Cînd cuțitul ocupă aceeași poziție cu palpatorul (aceeași distanță față de axa strungului, deci al piesei), miezurile magnetice ale traductoarelor T_1 și T_2 ocupă aceeași poziție în interiorul bobinelor respective. Ca urmare $L_1 = L_3$ și $L_2 = L_4$, prin L_1, L_2, L_3 și L_4 notînd inductanțele bobinelor B_1, B_2, B_3 și respectiv B_4. Aceasta este condiția de echilibru a punții, care se mai poate scrie $I_a = 0$. În această situație, una dintre înfășurările motorului nefiind alimentată, acesta stă pe loc.

Cînd palpatorul D avansează, de exemplu în sens „+" (adică spre axul strungului), inductanța L_1 va crește, iar L_2 va scădea. Față de situația de echilibru rezultă deci $L_1 > L_3$ și $L_2 < L_4$, ceea ce va avea ca efect apariția curentului de dezechilibru I_a care, avînd o anumită fază față de tensiunea U_a, produce rotirea motorului în sensul în care cremaliera K împinge cuțitul C în același sens „+" de avansare, adică spre axul strungului. Mișcarea motorului și deci avansarea cuțitului nu se opresc decît atunci cînd ocupă aceeași poziție cu D, adică puntea s-a echilibrat ($I_a = 0$).

Dacă situația se prezintă invers, adică *față de poziția de echilibru palpatorul se retrage* (sensul „—"), inductanța L_1 va scădea, iar L_2 va crește. Față de poziția de echilibru rezultă $L_1 < L_3$ și $L_2 > L_4$ (invers în raport cu situația precedentă), ceea ce are ca efect un curent de dezechilibru I_a avînd o fază opusă celei precedente. Ca urmare, motorul se va roti în sens contrar, antrenînd prin cremaliera K cuțitul C care „urmărește" aceeași mișcare de retragere ca și palpatorul P.

În consecință, prin deplasarea păpușii mobile cu viteză constantă ($v = ct$), palpatorul D explorează profilul șablonului S, iar cuțitul C strunjește (copiază) acest profil pe piesa de prelucrat P.

● **Observație.** După cum a rezultat din cele arătate, funcționarea sistemului descris asigură „urmărirea" de către cuțitul C a deplasărilor longitudinale ale palpatorului D și ca atare asemenea sisteme se mai numesc și *sisteme automate de urmărire.*

Sistemele automate de urmărire (de comandă) funcționînd cu un circuit închis sînt similare sistemelor de reglare automată (v. cap. 17), la care mărimea de intrare variază aleatoriu (oricum), deci se supun acelorași principii de studiu ca și sistemele de reglare.

2. SISTEME DE COMANDĂ (PROGRAM) NUMERICĂ

Comanda-program numerică constituie un sistem de comandă automată a unui proces pe baza unui program prestabilit utilizînd mărimi numerice, în sensul că toate mărimile care intră în sistemul de comandă sînt de tip discret.

Comanda (program) numerică are un domeniu larg de aplicabilitate și anume: comanda mașinilor-unelte, comanda unor procese în industria chimică (instalații de dozare și amestec) în industria materialelor de construcții (prepararea betoanelor), în tehnica militară etc. Dintre aceste domenii, cel care oferă o aplicabilitate mai largă a comenzii numerice este cel al mașinilor-unelte și la el ne vom referi în cele ce urmează.

Dintre mașinile-unelte cu comandă numerică se menționează în primul rînd strungurile, mașinile de găurit, de frezat, de alezat etc.

În mod asemănător sistemelor de calcul numeric (v. cap. 20), și în cazul comenzii numerice, mărimile aplicate sistemului de comandă vor fi mărimi sub formă de numere folosind sistemul de numerație în cod binar.

În figura 19.4 este prezentată schema bloc a unui *sistem de comandă numerică pentru comanda liniară.*

Din analiza schemei respective se pot face următoarele observații preliminare:

Sistemul de comandă numerică cuprinde două părți distincte:

— instalația tehnologică (mașina-unealtă);

— dispozitivul de automatizare (echipamentul de comandă numerică).

Conectarea între cele două părți principale este asigurată prin două legături:

— legătura de comandă (directă);

— legătura de măsurare (inversă sau de reacție).

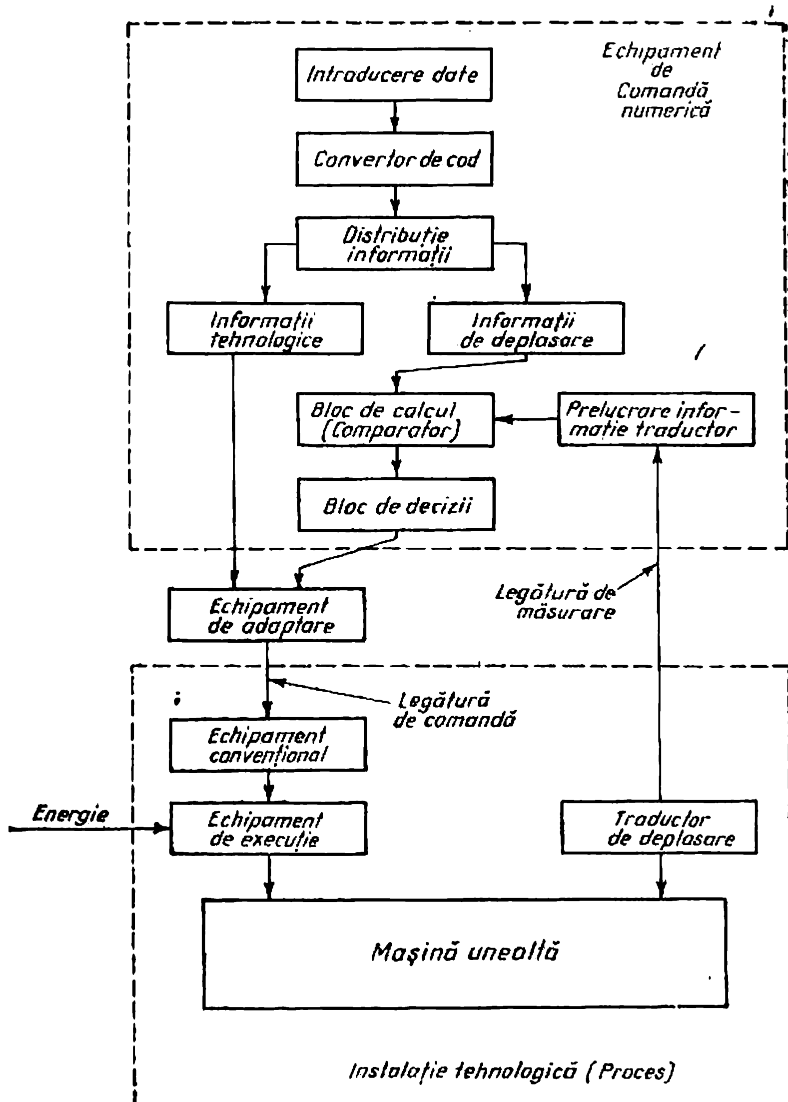


Fig. 19.4. Sistem de comandă automată numerică.

Indiferent de tipul constructiv şi de natura procesului de prelucrare, orice maşină-unealtă posedă trei axe rectangulare, notate arbitrar cu X, Y şi Z, în raport cu care pot exista mişcări de translaţie şi de rotaţie notate A, B şi respectiv C.

Atribuirea axelor de coordonate unei maşini-unelte este normalizată. De exemplu, în ţara noastră sistemul normal de coordonate (fig. 19.5) este reglementat prin STAS 8902-71.

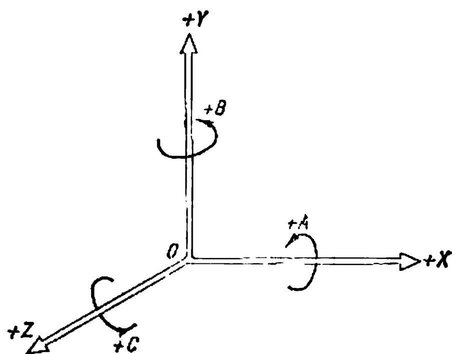


Fig. 19.5. Sistem normal de axe de coordonate.

Mişcărilor de rotaţie li se asociază literele A, B şi respectiv C, sensul pozitiv de rotaţie corespunzînd sensului de rotaţie al şurubului „dreapta" (normal) pentru a se deplasa în sensul pozitiv al axelor de coordonate X, Y şi respectiv Z (fig. 19.5).

Maşina-unealtă este echipată cu motoare electrice (elemente de execuţie) care permit diverse deplasări ale piesei (de poziţionare, de prelucrare etc.).

Pentru măsurarea diverselor deplasări care au loc în maşina-unealtă, se folosesc traductoare de deplasare (liniară sau unghiulară). De obicei sînt folosite traductoare numerice, la care mărimea de ieşire este, evident, un număr prezentat în cod binar.

În componenţa maşinii-unelte intră şi echipamentul electric convenţional, care permite ca funcţia de comandă să se desfăşoare fie automat, prin informaţiile primite de la echipamentul de automatizare, fie „convenţional" adică prin intervenţia omului (de exemplu: la reglări, puneri în funcţiune, avarii etc.). Ieşirile din echipamentul convenţional reprezintă, deci, circuite pentru alimentare cu energie a elementelor de acţionare: motoare electrice, ventile electrice, hidraulice sau pneumatice, cuplaje electromagnetice etc.

Echipamentul de adaptare asigură adaptarea semnalelor primite de la echipamentul de comandă numerică cu cerinţele impuse echipamentului de conducere a maşinii-unelte înainte de a fi automatizată.

Printre funcţiile echipamentului de adaptare se pot menţiona cele de convertire a codului informaţiei de ieşire din echipamentul de comandă numerică, cele de amplificare a semnalelor care caracterizează informaţia, unele impulsuri de interblocări şi confirmări etc.

Echipamentul de comandă numerică cuprinde o serie de elemente componente interconectate prin legături informaționale simple.

Introducerea datelor poate fi făcută manual sau automat. Introducerea automată a datelor presupune — ca și în cazul sistemelor electronice de calcul — memorarea acestora pe un mediu suport-purtător de informații: cartele perforate, bandă magnetică, bandă perforată etc. Dintre acestea, cea mai largă răspîndire o are banda perforată. Ea este formată dintr-o bandă de hîrtie sau material plastic pe care sînt înscrise datele din program, după unele reguli stabilite la nivel internațional, într-un cod standardizat (STAS 9210-73), (fig. 19.6).

Cititoarele de bandă sînt fie electromecanice, adică cu contacte care se închid în dreptul unei perforații, fie fotoelectrice.

Convertorul de cod transformă (convertește) informațiile primite, din cod binar într-un cod zecimal realizat cu relee, cu elemente de comutație statică sau matricial cu diode (v. fig. 15.3).

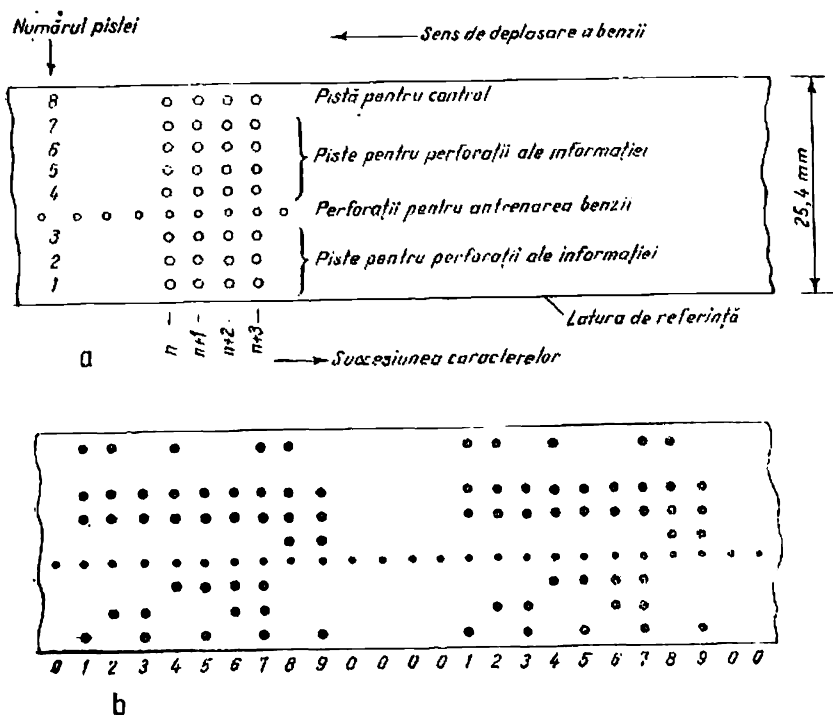


Fig. 19.6. Banda perforată pentru comanda numerică:
a — formatul benzii perforate; *b* — exemplu de înscriere a unei informații.

Echipamentul de comandă numerică transmite mașinii-unelte două feluri de informații și anume:

— informații de deplasare (cantitative);

— informații tehnologice (calitative).

Datele introduse sînt formate dintr-o așa-numită adresă, urmată de o parte numerică. Adresa este întotdeauna exprimată printr-o literă urmată de un număr care arată mărimea deplasării. De exemplu: Z2—7 — 5 înseamnă deplasare pe axa Z cu 275 mm.

Această informație este distribuită:

— pe canalul informațiilor tehnologice (Z);

— pe canalul informațiilor de deplasare (275).

Blocul de distribuție a informației are așadar rolul de a separa informațiile tehnologice de informațiile de deplasare.

Blocul de calcul realizează funcția „comparatorului" din sistemele de reglare automată (v. cap. 14 și 17), adică compară semnalele de comandă primite la intrare cu semnalele reale primite de la traductorul (traductoarele) de deplasare.

Informațiile primite de la traductorul de deplasare sînt prelucrate astfel încît să poată fi comparate (compatibile) cu cele primite de la intrare.

Blocul de decizii primește informațiile de la blocul de calcul și dă comenzi adecvate instalației tehnologice în sensul compensării (anulării) abaterilor mașinii-unelte de la pozițiile sau instrucțiunile impuse de program.

Comenzile pot fi discrete sau continui, astfel ca mașina-unealtă să descrie acele prelucrări care ar fi efectuate de către un operator perfect (funcționare optimală).

D. AUTOMATIZĂRI ÎN INDUSTRIA ENERGETICĂ

1. REGLAREA AUTOMATĂ A TENSIUNII ȘI PUTERII REACTIVE (RAT)

Pentru a stabili scopul și fazele succesive ale procesului de reglare, se va considera un exemplu referitor la modificarea tensiunii unui generator sincron trifazat. Generatorul G, antrenat de turbina T cu viteza sincronă n_0, debitează pe bare o putere aparentă S sau un curent I (fig. 19.7, *a*). După cum se știe, tensiunea electromotoare E produsă de generator este proporțională cu fluxul de excitație Φ_e (sau curentul de excitație din rotor (I_e), deci cu curentul de excitație i_e al excitatoarei E_z. Rezultă că atît timp cît i_e este constant, și E este constant. Curentul

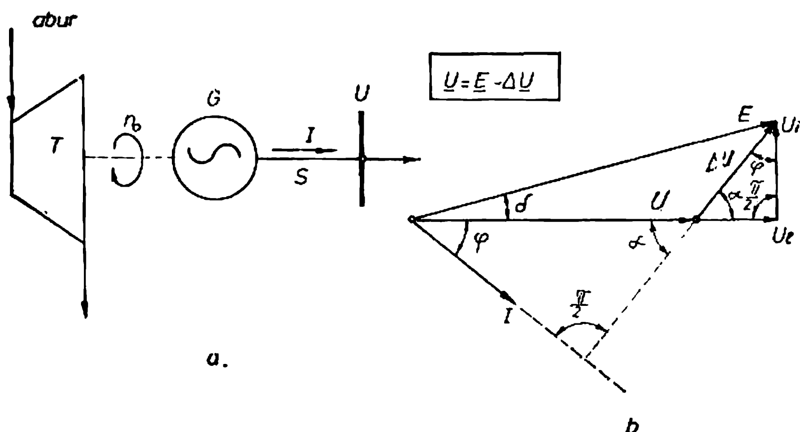


Fig. 19.7. Variația tensiunii la generatoarele sincrone:
a — schema electrică; *b* — diagrama fazorială.

debitat I produce pe reactanța X_G a generatorului o cădere de tensiune ΔU, astfel că tensiunea* U pe bare are valoarea:

$$\underline{U} = \underline{E} - \Delta \underline{U} = \underline{E} - X_G \underline{I}. \qquad (19.1)$$

Din diagrama fazorială a tensiunilor (fig. 19.7, *b*) se constată că, proiectînd căderea de tensiune ΔU pe direcția tensiunii U și pe o direcție perpendiculară pe aceasta, se obține:

$$\Delta U_l = \Delta U \cos \alpha = \Delta U \cdot \sin \varphi = X_G I \sin \varphi = X_G I_r \qquad (19.2)$$

$$\Delta U_t = \Delta U \sin \alpha = \Delta U \cos \varphi = X_G I \cos \varphi = X_G I_a \qquad (19.3)$$

Pe baza celor arătate se pot face următoarele observații:

— Căderea de tensiune longitudinală ΔU_l este produsă de curentul reactiv $I_r = I \sin \varphi$, deci modificarea acestuia produce, conform relației (19.1), modificarea valorii (amplitudinii) tensiunii U la bornele generatorului** în cazul în care E = const, adică i_e = const.

— Căderea de tensiune transversală ΔU_t este produsă de curentul activ $I_a = I \cos \varphi$, însă modificarea acestuia nu produce modificarea valorii (amplitudinii) tensiunii U, ci numai a fazei acesteia, lucru care, practic, nu prezintă importanță.

— Pentru a menține constantă tensiunea U la bornele generatorului în cazul cînd variază curentul reactiv, este necesară modificarea cores-

* Tensiunile U și E, ca și reactanța X_G sînt considerate pe fază.
** Cînd I crește, U scade și invers.

punzătoare a curentului de excitație iI_e, deci reglarea automată a tensiunii (*RAT*).

Funcționarea principală a *RAT* poate fi urmărită în figura 19.8. El cuprinde un reostat circular *R*, cu cursorul *C* deplasat pe pîrghia *U*, articulată în punctul *a*. Asupra pîrghiei acționează în capătul *b* motorul (solenoidal) *M*, care alimentat cu tensiunea *u* (proporțională cu *U*), produce forța activă F_a. În sens contrar și articulat în același punct *b*, trage resortul spiral *S*, care produce o forță de întindere F_r. Rezistența R_e a reostatului, cuprinsă între cursorul *C* și capătul *d*, este străbătută, ca și în cazul reglării manuale, de curentul de excitație I_e.

În funcționare normală, regulatorul are o poziție de echilibru determinată de relația:

$$F_a = F_r, \qquad (19.4)$$

cînd tensiunea la bornele generatorului are chiar valoarea de consemn:

$$U = U_0. \qquad (19.5)$$

Cînd curentul reactiv I_r (mărimea perturbatoare) *absorbit de rețea crește*, tensiunea la borne va scădea (relațiile 19.1 și 19.2), adică apare

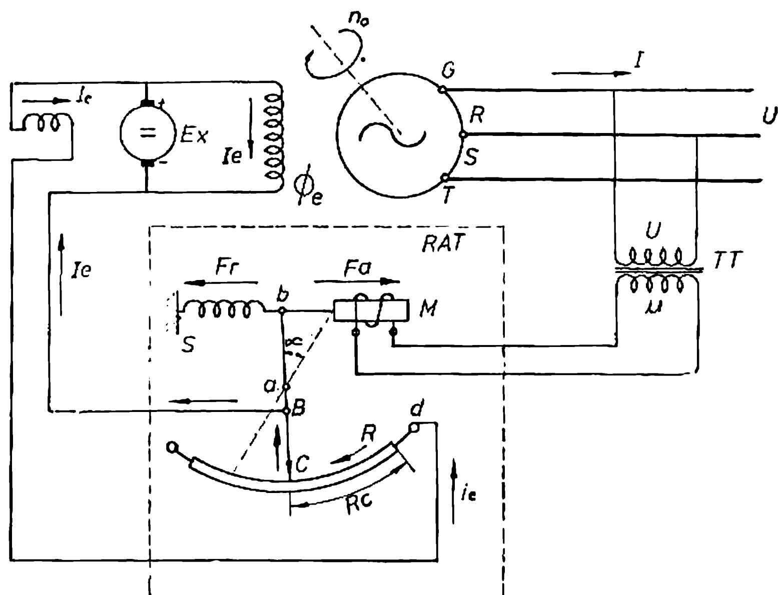


Fig. 19.8. Sistem de reglare automată a tensiunii generatoarelor sincrone (*RAT*).

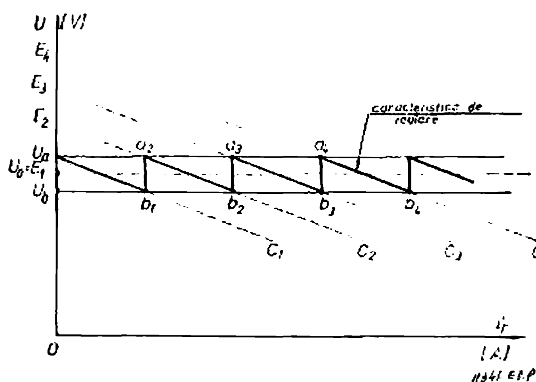


Fig. 19.9. Diagrama de reglare automată a tensiunii.

o abatere ΔU negativă ($U < U_0$). Ca urmare, echilibrul stabilit prin relația (19.5) se modifică, u scade proporțional cu U, deci forța F_a va scădea ($F_a < F_r$), ceea ce va avea ca efect deplasarea punctului b spre stînga, adică o nouă poziție a cursorului C. În consecință, rezistența R_e scăzînd, curentul i_e crește, deci E și implicit U vor crește.

Deoarece printr-o construcție specială forța F_r a resortului S nu se modifică cu alungirea, adică cu deplasarea punctului b ($E_A = const$), rezultă că acțiunea regulatorului nu încetează (R_e scade continuu) pînă ce U crește din nou la valoarea U_0 (relația 19.5), respectiv pînă ce $F_a = F_r$ (relația 19.4).

Cele arătate pot fi prezentate simbolic* astfel:

$$I_r \nearrow U \searrow u \searrow F_a \searrow R_e \searrow i_e \nearrow I_e \nearrow \Phi_e \nearrow E \nearrow U \nearrow$$

Cînd curentul reactiv absorbit de rețea scade, procesul de reglare are loc în sens invers, astfel că el poate fi urmărit pe baza următoarei reprezentări simbolice:

$$I_r \searrow U \nearrow u \nearrow F_a \nearrow R_e \nearrow i_e \searrow I_e \searrow \Phi_e \searrow E \searrow U \searrow$$

Modul de reglare automată a tensiunii poate fi urmărit și in figura 19.9, în care s-a trasat caracteristica externă C_1 a generatorului avînd tensiunea de gol $E_1 = U_0$ pentru $I_r = 0$ (generator funcționînd în gol). Prin U_0 s-a notat tensiunea de consemn sau tensiunea prescrisă, adică valoarea impusă a mărimii de ieșire a *SRA* (de exemplu, $U_0 = 6\,300$ V). Tensiunea de consemn nu poate fi menținută riguros constantă, ci reprezintă o valoare medie, cuprinsă între două valori apropiate, U_a și U_b (de exemplu, $U_a = 6\,350$ V, iar $U_b = 6\,250$ V).

* Se notează cu simbolul ↗ tendința de creștere a unui parametru, respectiv cu simbolul ↘ tendința de scădere.

Cînd curentul I_r crește, tensiunea scade după caracteristica externă pînă la valoarea $U = U_b$ (punctul b_1 din figura 19.9). Regulatorul sesizînd abaterea de reglare sau eroarea (ε_1):

$$\varepsilon_1 = x_i - x_e = U_0 - U_b = \text{eroare pozitivă}, \tag{19.6}$$

(de exemplu, $\varepsilon_1 = 6\,300 - 6\,250 = +50$ V), acționează asupra excitației, mărind tensiunea electromotoare la valoarea $E = E_2$. În acest mod punctul de funcționare trece în a_2 pe noua caracteristică naturală C_2 și se poate deplasa în continuare pe măsura creșterii curentului I_r pînă în punctul b_2, cînd regulatorul intervine din nou și așa mai departe. Acțiunea regulatorului este similară la scăderea curentului I_r, cînd acesta intervine invers, dezexcitînd treptat generatorul, ori de cîte ori tensiunea crește la valoarea U_a. În acest caz eroarea este (ε_2):

$$\varepsilon_2 = x_i - x_e = U_0 - U_a = \text{eroare negativă}, \tag{19.7}$$

(de exemplu, $\varepsilon_2 = 6\,300 - 6\,350 = -50$ V).

2. REGLAREA AUTOMATĂ A FRECVENȚEI ȘI PUTERII ACTIVE (RAF)

Menținerea constantă a frecvenței reprezintă un deziderat major în funcționarea normală a unui sistem energetic. Se demonstrează că menținerea constantă a frecvenței este necesară în scopul asigurării funcționării motoarelor în condiții optime, cuplul motor, deci puterea absorbită variind proporțional cu frecvența f la o putere oarecare.

Reglarea frecvenței mai este de asemenea necesară în scopul reducerii pierderilor în rețelele de transport al energiei, precum și pentru asigurarea desfășurării anumitor procese tehnologice în condiții optime, reclamate de funcționarea motoarelor sincrone la o turație riguros constantă n_0 (turația sincronă) care, după cum se știe, este dependentă de frecvență după relația:

$$n_0 = \frac{60\,f}{p}. \tag{19.8}$$

în care p este numărul de perechi de poli.

Turbinele care antrenează generatoare sincrone sînt prevăzute cu regulatoare automate de turație (viteză), denumite prescurtat RAV.

Deoarece frecvența f depinde de turația n, conform relației:

$$f_0 = \frac{f \cdot n}{60}. \tag{19.9}$$

p fiind numărul de perechi de poli, s-ar părea că este lipsit de sens să mai vorbim de o reglare a frecvenței atît timp cît se reglează turația.

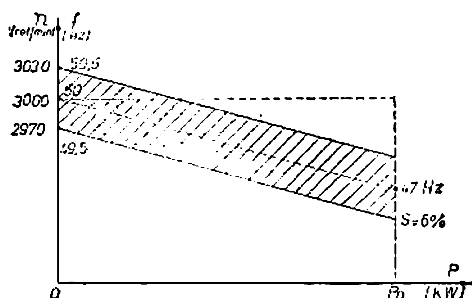


Fig. 19.10. Caracteristica statică a R.A.V.

Într-adevăr, la un grup generator avînd, de exemplu, o pereche de poli ($p = 1$), dacă turbogeneratorul are turația $n = 3\,000$ ture/min, frecvența rezultă riguros: $f = 50$ Hz.

Rațiunea introducerii reglajului de frecvență este aceea că regulatoarele de turație avînd piese mecanice în mișcare, prezintă următoarele particularități:

— Datorită frecărilor mecanice, regulatorul prezintă o oarecare insensibilitate mecanică adică, de exemplu, dacă regulatorul are o turație de consemn de 3 000 rot/min (50 Hz), el poate realiza între 2 970 rot/min (49,5 Hz) și 3 030 rot/min (50,5 Hz). El menține deci o turație de consemn cu o eroare de ± 30 rot/min sau $\pm 0{,}5$ Hz, adică $\pm 1\%$. Caracteristica de reglare a turației este deci nu o dreaptă, ci o bandă de o anumită lățime, de exemplu 1 Hz (fig. 19.10).

— Se demonstrează că datorită insensibilității regulatorului și în scopul asigurării unei repartiții dorite a unei sarcini active pe mai multe generatoare funcționînd în paralel, este necesar ca regulatoarele de turație să aibă o caracteristică de reglare statică avînd un grad de statism $s = 5 \ldots 6\%$. Aceasta înseamnă, de exemplu că, chiar dacă turația de consemn este $n_0 = 3\,000$ rot/min ($f_0 = 50$ Hz), adică fără abateri datorate insensibilității, iar statismul $s = 6\%$ și generatorul debitează puterea nominală P_n, turația scade la $n_n = 2\,820$ rot/min. La această turație, frecvența curentului electric devine 47 Hz, adică mult sub valoarea sa de avarie. În practică se consideră necesară o abatere maximă admisibilă de 0,6%, deci frecvența trebuie menținută în limitele: $f_0 = 50 \pm 0{,}3$ Hz (49,7—50,3 Hz).

Așadar, reglajul de frecvență (*RAF*) reprezintă o automatizare care printr-o măsurare foarte precisă a frecvenței rețelei comandă modificarea caracteristicilor de funcționare ale regulatoarelor automate de turație (*RAV*). Schema de principiu a unui sistem de reglare automată a frecvenței este reprezentată în figura 19.11. Frecvența f este preluată din rețeaua generatorului G prin transformatorul de tensiune TT și este aplicată regulatorului automat de frecvență *RAF*, care trebuie să mențină frecvența de consemn f_0 (50 Hz $\pm$ 0,3 Hz). Abaterea de frecvență $\Delta f = f_0 - f$ este pusă în evidență printr-o tensiune $U_{\Delta f}$, care comandă servomotorul S. Acesta, printr-o rotitre stînga-dreapta, strînge sau slăbește întinderea unor resorturi din regulatorul automat de turație *RAV*.

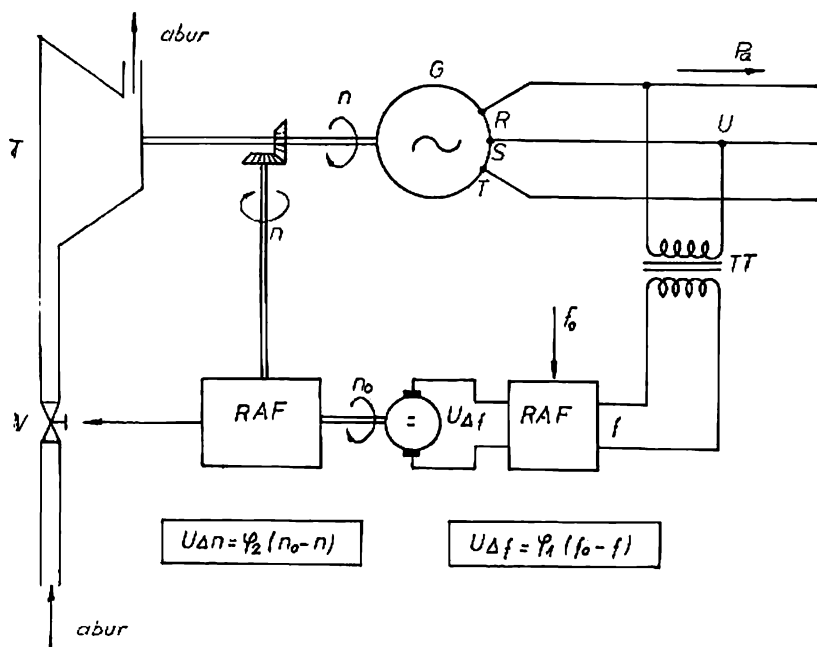


Fig. 19.11. Sistem de reglare automată a frecvenței (*RAF*).

modificînd astfel mărimea de consemn n_0 (n_{01}, n_{02} ...). Prin urmare regulatorul de turație intră în acțiune și, sesizînd o abatere de turație $\Delta n = n_0 - n$, produce o comandă $U_{\Delta n}$, care modifică prin vana *V* admisia aburului în turbina *T*. În final turația *n*, deci frecvența *f*, se modifică în consecință.

Schema bloc a sistemului de reglare a frecvenței este prezentată în figura 19.12. Se observă că sistemul de ansamblu este, de fapt, un *SRA*

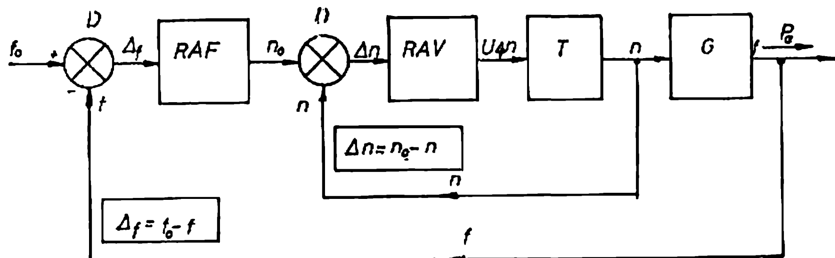


Fig. 19.12. Schema bloc a unui sistem *RAF*.

cu două bucle de reglare, avînd deci două comparatoare diferențiale: D_F, al regulatorului de frecvență, și D_T, al celui de turație.

Procesul de reglare a frecvenței, adică dependența $f = \Phi(P_a)$ poate fi urmărit în figura 19.13, care se explică într-un mod asemănător ca și figura 19.9. În acest caz, în ipoteza creșterii puterii active P_a (sau a curentului I_a) debitate, regulatorul de frecvență *RAF* asigură funcționarea într-o anumită bandă de frecvență (de exemplu, 49,7—50,3 Hz) în jurul frecvenței de consemn f_{01} (50 Hz), deplasînd paralel caracteristicile de reglare a turației. Ca urmare, caracteristicile *RAV*, care au un anumit grad de statism (pe care și-l păstrează), își modifică mărimea de mers în gol (turația sau frecvența) la valorile $n_{02}(f_{02})$, $n_{03}(f_{03})$ ... în punctele b_1, b_2 ...

Trebuie subliniat faptul că, spre deosebire de tensiune, frecvența este riguros aceeași în orice punct al sistemului energetic. Ca urmare, în sistemele moderne de *RAF*, regulatorul de frecvență este plasat în punctul central de dispecer, unde se primesc informații complexe asupra puterilor produse de grupurile mari (grupuri „reglante") și a puterilor consumate. În conseință, informațiile sînt prelucrate de către un calculator (v. cap. 20) care stabilește pentru fiecare centrală în parte modificarea caracteristicilor de *RAV*. În acest mod reglarea frecvenței este un proces complex, de automatizare care se realizează la nivelul sistemului energetic.

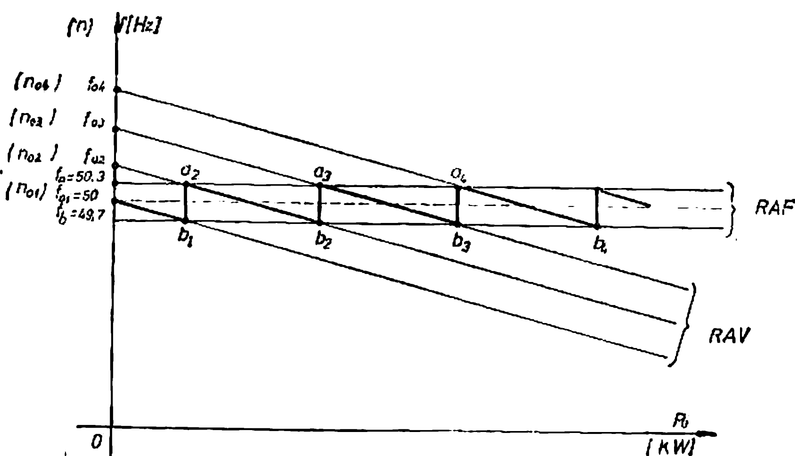


Fig. 19.13. Diagrama de reglare automată a frecvenței.

Automatizarea cuptoarelor rotative de ciment (clinker)

În linii mari, procesul tehnologic constă în încălzirea într-un cuptor rotativ (fig. 19.14) a pastei de clinker cu ajutorul arderii gazului combustibil, gazele arse fiind eliminate prin coșul de fum.

Pentru conducerea unui asemenea proces tehnologic se folosesc o serie de bucle de reglare automată pe baza măsurării unor parametri, cum sînt: temperaturile, presiunile, debitele, compoziția gazelor arse, turațiile, mărimile electrice etc.

● **Temperaturile** se măsoară în următoarele puncte (fig. 19.14):

— la capătul cald al cuptorului (punctul *1*), în zona de clinkerizare (1 300—1 600°C), unde se folosește un pirometru de radiație (v. fig. 11.21) sau cu celulă fotoelectrică;

— în zona de uscare (*2*) și la începutul zonei de calcinare (*3*), precum și în camera de fum (*4*) — temperatura gazelor arse, circa 300°C — în care scop se folosesc traductoare cu termocupluri (v. fig. 11.24);

— la ieșire din ventilatorul de aer primar *5*, unde se măsoară temperatura aerului de ardere cu ajutorul unui termometru cu rezistență (v. fig. 11.12) sau manometric;

— la lagărele (*6*) cuptorului rotativ, în scopul semnalizării încălzirii excesive (peste 60°C) ale acestora.

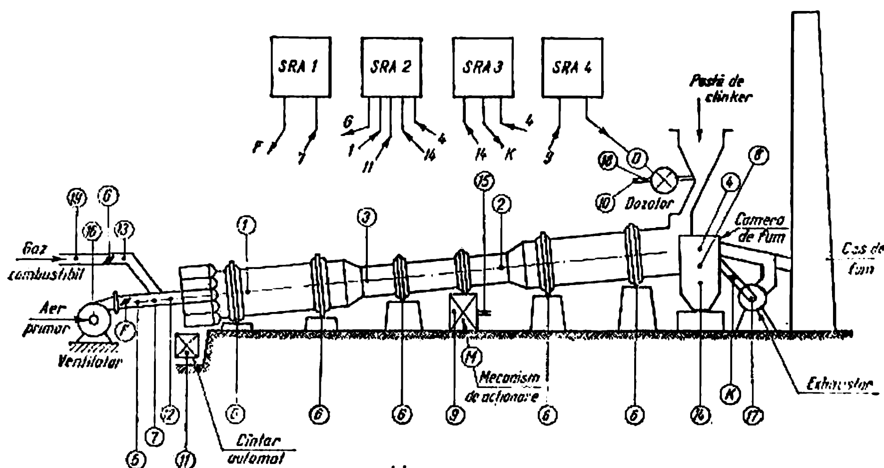


Fig. 19.14. Automatizarea cuptoarelor rotative de ciment (clinker).

● **Presiunile** se măsoară în următoarele puncte: la ieşirea din ventilator (*7*), la intrarea gazelor de combustie (*19*), în camera de fum (*8*), la reductorul mecanic al sistemului de antrenare (*9*).

● **Debitele** măsurate sînt următoarele:

— debitul de pastă — se măsoară prin contoare de impuls montate pe axul dozatorului (*10*);

— debitul de clinker — se măsoară tot cu contoare de impuls acţionate de cîntarul automat cu bandă (*11*);

— debitul de aer primar — se măsoară cu un traductor de debit cu diafragmă (*12*);

— debitul de gaz combustibil (*13*).

● **Analiza gazelor arse** este necesară în scopul conducerii optimale a procesului şi se efectuează la camera de fum (*14*), unde se determină conţinutul de CO_2. $CO + H_2$ şi O_2. O ardere incompletă se traduce prin creşterea conţinutului în $CO + H_2$, în timp ce excesul în aer primar produce creşterea conţinutului de O_2.

● **Turaţiile** se măsoară cu ajutorul traductoarelor tahogeneratoare la următoarele sisteme în rotaţie: cuptorul rotativ (*15*), ventilatorul de aer primar (*16*), exhaustorul de gaze arse (*17*) şi dozatorul de pastă (*18*).

Pe baza volumului de informaţii obţinut de la traductoarele indicate mai sus, conducerea procesului de producţie constă în influenţarea următoarelor mărimi principale: tirajul la coş (aer secundar), aerul primar, alimentarea cu pastă, alimentarea cu combustibil şi rotirea cuptorului.

● În acest scop sînt prevăzute o serie de **bucle de reglare**, dintre care cele mai importante sînt (fig. 19.14) următoarele:

— Regulatorul de aer primar *SRA 1* acţionează asupra vanei fluture *F* din circuitul de refulare al aerului primar pe baza măsurării presiunii determinată cu ajutorul traductorului *7*.

— Regulatorul de temperatură *SRA 2* acţionează asupra vanei *G* de admisie a gazului combustibil pe baza temperaturilor măsurate cu ajutorul traductoarelor *1* (zona de clinkerizare) şi *4* (camera de gaze arse) a valorii greutăţii volumetrice a clinkerului, — traductor *11* — precum şi a valorii conţinutului de O_2 în gazele arse — traductor *14*. —

— Regulatorul de gaze arse *SRA 3* acţionează asupra clapetei de intrare în exhaustorul de gaze arse, pe baza măsurării temperaturii gazelor arse — traductor *4* — şi a conţinutului de O_2 în gazele arse — traductor *14*. —

— Regulatorul de alimentare *SRA 4* acţionează asupra dozatorului *D*, modificînd debitul de pastă de clinker în funcţie de viteza de rotire a cuptorului — traductor *9*. —

De menţionat că viteza de rotire a cuptorului este ea însăşi reglată automat, utilizînd în acest scop acţionarea cu grup generator-motor Ward-Leonard.

Automatizarea procesului de fabricare a cimentului în cuptoare rotative mai cuprinde în plus o serie de aparate de măsurat și control indicatoare, înregistratoare, integratoare etc. pentru toate mărimile din proces.

F. AUTOMATIZĂRI ÎN INDUSTRIA METALURGICĂ

Măsurarea automată a grosimii unor benzi laminate

Grosimea d a unei benzi laminate (fig. 19.15) — de exemplu tablă — poate fi măsurată în mod automat cu ajutorul unui traductor capacitiv diferențial $C_1 - C_2$ conectat într-un montaj în punte.

Banda laminată este trecută cu o viteză constantă v printre două role: A_1 este fixă iar A_2 este palpatoare, fiind solidară cu tija D și apăsată pe bandă prin resortul spiral B.

Tija D deplasabilă cu rola A_2 antrenează armătura comună a condensatoarelor C_1 și C_2 (elementul sensibil al traductorului) care se deplasează ca o pîrghie în jurul punctului c.

Totul este astfel reglat că atunci *cind banda laminată are grosimea dorită* ($d = d_0$), distanțele d_1 și d_2 între armăturile celor două condensatoare sînt egale ($h_1 = h_2$) și deci $C_1 = C_2$.

În acest caz puntea Wheatstone formată în plus cu ajutorul a două condensatoare de capacități egale C_0 și alimentată cu tensiunea U_0 de la sursa stabilizată S se va afla la echilibru ($I_1 = I_4$ și $I_2 = I_3$).

Ca urmare, punctele a și b vor avea același potențial și miliampermetrul mA aflat în diagonala de măsurare a punții va arăta zero ($d = d_0$).

Dacă grosimea d crește ($d > d_0$), tija D se va deplasa în sus astfel că $h_1 > h_2$, deci $C_1 < C_2$.

În consecință, curentul I_2 va crește iar I_1 va scădea, ceea ce va avea ca efect creșterea potențialului punctului a în raport cu b. Curentul I_A prin miliampermetru — redresat cu ajutorul diodelor D_1 și D_2 — va avea în acest caz polaritatea pozitivă și o valoare proporțională cu abaterea Δd a grosimii de la valoarea de consemn d_0. Scara miliampermetrului mA este etalonată direct în milimetri.

Dacă grosimea d scade ($d < d_0$), procesul are loc în mod invers: $h_1 < h_2$, deci $C_1 > C_2$ și $I_1 > I_2$.

Curentul I_A va avea polaritate negativă, indicînd valoarea abaterii $-\Delta d$.

În locul miliampermetrului se poate folosi un releu polarizat (electromecanic sau electronic) avînd un prag de sensibilitate $\pm \Delta I_A$ de o valoare corespunzătoare unei abateri de grosime $\pm \Delta d$ tolerată. În acest caz se

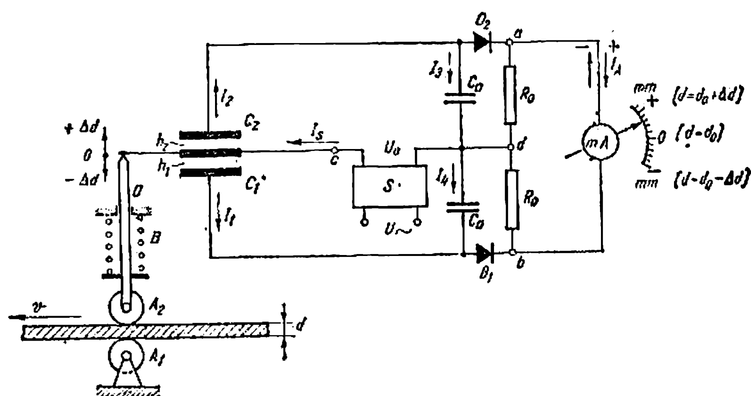


Fig. 19.15. Măsurarea automată a grosimii unor benzi laminate.

obține un sistem de control automat al benzii laminate, releul semnalizînd printr-un contact sau altul ieșirea din limite a produsului controlat.

În sfîrșit, abaterea $\pm \Delta I_A$ poate fi folosită ca mărime de intrare într-un regulator automat avînd rolul de a modifica direct — printr-un motor de execuție — forța de apăsare de la cilindrii laminorului.

S-a realizat astfel un sistem de reglare automată a grosimii de laminare.

Sistemul descris (fig. 19.15) mai poate fi folosit și în alte industrii (mase plastice, hîrtie etc.).

REZUMAT

1 Automatizarea proceselor de producție se întîlnește în toate domeniile industriale, iar în cadrul aceluiași domeniu automatizarea se extinde în mod permanent.

2. Aceeași funcție de automatizare — de exemplu reglarea automată — poate fi realizată în mod diferit pentru același proces de producție.

3. Același sistem de automatizare folosind elemente structurale identice poate fi întîlnit în industrii diferite; de exemplu procesul de automatizare a distilării se poate întîlni realizat în mod similar în industriile chimică, alimentară, petrolieră etc.

CAPITOLUL 20

CALCULATOARE DE PROCES ȘI SISTEME DE CALCUL

A. CONSIDERAȚII GENERALE

Utilizarea calculatoarelor pentru conducerea proceselor industriale a cunoscut în ultimul timp o dezvoltare rapidă datorită pe de o parte îmbunătățirii performanțelor calculatoarelor privind: viteza de lucru (zeci de mii de operații pe secundă), capacitatea memoriei, siguranța în funcționare etc., iar pe de altă parte datorită elaborării unor procedee mai exacte de identificare a proceselor. Se precizează că prin identificarea proceselor se înțelege determinarea modelului matematic al unui proces, adică al modului de comportare în regim static și dinamic a procesului respectiv.

În conducerea proceselor se folosesc în principal *calculatoare numerice specializate* și, în anumite cazuri, și *calculatoare universale*.

Datorită rolului esențial al informației în conducere (fie că este vorba de conducerea unui singur parametru, al unui proces, a unei întreprinderi sau a unui combinat), calculatorul reprezintă o entitate logică, caracteristică principală a unui sistem de conducere, avînd capacitatea de a colecta, memora, prelucra și difuza o cantitate mare de informație cu mare viteză, precizie și siguranță.

Rolul calculatorului în dirijarea unui proces poate fi considerat asemănător cu acela al dispozitivelor de automatizare convențională, cu mențiunea că există o diferență cantitativă și calitativă esențială în ceea ce privește complexitatea instalațiilor și a performanțelor obținute. Acesta este motivul pentru care conducerea prin calculator se mai numește și *automatizare complexă*.

Conducerea proceselor cu ajutorul calculatoarelor (automatizarea complexă) reprezintă o noțiune cu o sferă largă, cuprinzînd diverse con-

figurații pentru sistemele calculator — om — proces, precum și diverse concepte, de complexități diferite, de folosire a calculatorului în conducerea proceselor tehnologice.

B. CONFIGURAȚIILE SISTEMELOR CALCULATOR-OM-PROCES

1. CALCULATOARE „OFF-LINE"

Cea mai simplă configurație posibilă (fig. 20.1) este aceea în care calculatorul se află „în afara liniei" *(off-line)*, adică el primește informații asupra procesului prin intermediul omului și în mod similar, rezultatele calculelor sale sînt concretizate sub forma unor comenzi efectuate de către un operator uman, pe baza unui proces de gîndire efectuat de acesta.

La funcționarea *off-line* a calculatorului are loc acumularea datelor și, din timp în timp, acestea sînt transmise și prelucrate de calculator. Un asemenea regim este adecvat la procesele lente, unde întîrzierile nu contează.

De menționat că în modul de conectare „*off-line*" pot fi folosite și calculatoare universale. Trebuie observat de asemenea că folosirea intermitentă a calculatorului permite o utilizare intensivă a acestuia printr-o multiprogramare, adică conectarea succesivă a acestuia la diverse programe de calcul (de exemplu conducerea „*off-line*" a mai multor procese). În acest caz, regimul de funcționare al calculatorului se numește „divizarea timpului" *(„time sharing")*.

2. CALCULATOARE „IN-LINE"

Și în acest caz omul este interpus complet între proces și calculator (fig. 20.2), însă în acest caz operatorul introduce datele privind procesul în mod rapid și continuu, direct în calculator cu ajutorul unei console adecvate (imprimantă, claviatură, disc etc.). Și în acest caz, pe baza

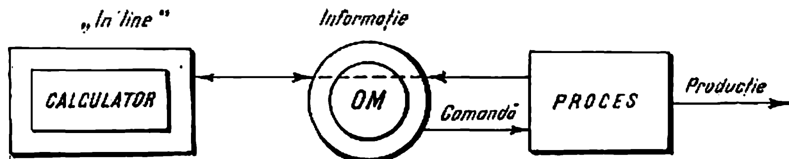


Fig. 20.1. Conectarea „*off-line*" calculator-proces.

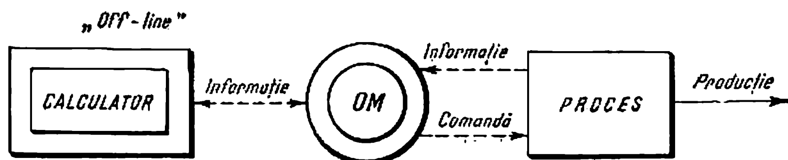


Fig. 20.2. Conectare „*in-line*" calculator-proces.

rezultatelor ce se obţin în mod continuu, operatorul uman efectuează o serie de comenzi adecvate asupra procesului. Un asemenea calculator („*in-line*"), care urmăreşte îndeaproape în timp o anumită activitate fizică externă se numeşte şi *sistem cu funcţionare în timp real* (calculator cu uniprogramare).

3. CALCULATOARE „ON-LINE"

Termenul de „*on-line*" arată că calculatorul este conectat „*pe linie*" direct la fluxul informaţional (fig. 20.3) fără intervenţia omului şi fără întîrziere, mărimile măsurate fiind convertite direct într-o formă adecvată pentru a fi prelucrată.

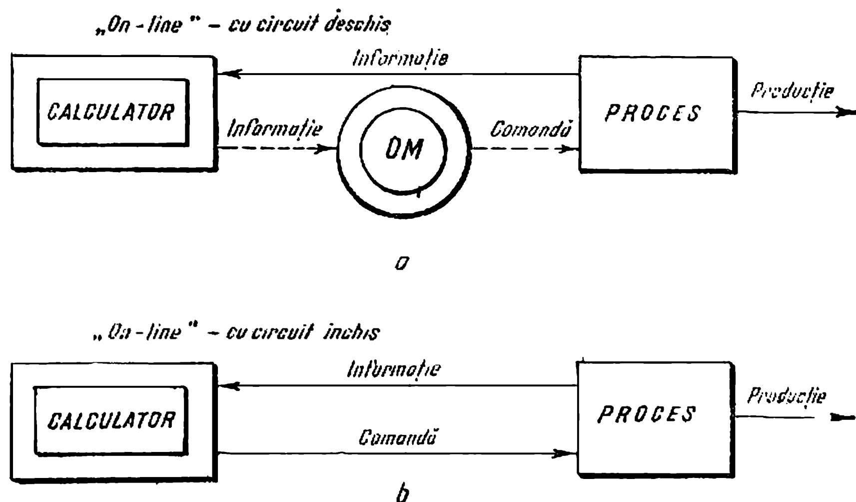


Fig. 20.3. Conectare „*on-line*" calculator-proces:
a — cu circuit deschis; *b* — cu circuit închis.

În ceea ce privește legătura de comandă, se folosesc două variante de conectare „*on-line*" și anume:

— *sistem „on-line" cu circuit deschis* (fig. 20.3, *a*), la care comanda procesului este dată de om pe baza rezultatelor elaborate de calculator;

— *sistem „on-line" cu circuit închis* (fig. 20.3, *b*) la care deciziile de comandă sînt efectuate direct de către calculator pe baza unui program prestabilit de om.

În această variantă, modul de intervenție în proces al calculatorului poate fi diferit în funcție de structura sistemelor de automatizare convenționale cu care sînt echipate instalațiile tehnologice.

C. ECHIPAMENT DE INTRARE-IEȘIRE

1. INTRODUCERE

Pentru adaptarea mărimilor din proces care de obicei sînt analogice, la mărimile necesare calculatorului care poate fi analogic sau numeric sau adaptarea mărimilor în sens invers, de la calculator către proces, se folosesc o serie de echipamente specifice, dintre care amintim: *convertoarele, multiplexoarele, elementele de calcul* etc.

2. CONVERTOARE NUMERIC-ANALOGICE ȘI ANALOG-NUMERICE

Informația care se primește de la traductoarele din proces (presiune, temperatură, debit etc.), precum și cea furnizată de un calculator numeric elementelor de execuție, are un caracter analogic. Pe de altă parte, informațiile introduse precum și cele extrase din calculator au un caracter numeric.

Pentru transformarea (convertirea) mărimilor care intervin, din forma lor numerică în forma analogică sau invers, se folosesc tipuri speciale de elemente numite *convertoare analog-numerice* (A/N) sau *numeric-analogice* (N/A).

3. MULTIPLEXOARE

Pentru folosirea acelorași convertoare analog-numerice sau numeric-analogice în scopul convertirii în timp a mai multor parametri de la o formă la alta se folosesc *multiplexoare*. Aceste elemente, similare distribuitoarelor din automatică, sînt plasate la intrarea și ieșirea unui con-

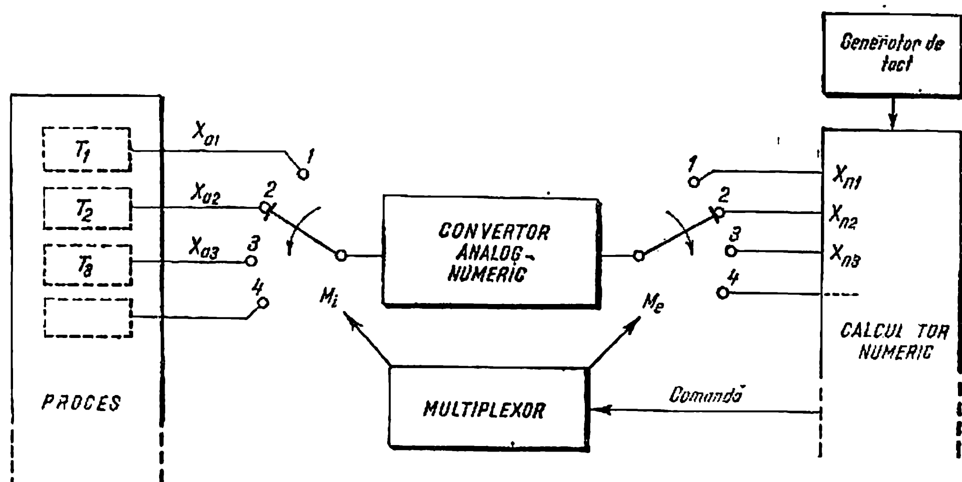


Fig. 20.4. Multiplexor.

vertor (exemplul din figura 20.4) şi se comută sincron (cu aceeaşi viteză) şi sinfazat (M_i şi M_e sînt simultan pe acelaşi plot).

În exemplul din figura 20.4, mărimile analogice X_{a1}, X_{a2} ... obţinute de la traductoarele din proces T_1, T_2 ... sînt convertite în mărimile numerice X_{n1}, X_{n2} ... care sînt introduse în calculator de către acelaşi convertor analog-numeric.

Multiplexoarele sînt realizate cu relee electromecanice sau electronice, funcţionarea sincronă şi sinfazată fiind asigurată de la un monitor de timp („generator de tact") prin intermediul calculatorului (fig. 20.4).

4. ELEMENTE (APARATE) ELECTRONICE DE CALCUL ANALOGIC

Instalaţiile industriale de automatizare cuprind, uneori, o serie de aparate de calcul analogice destinate fie convertirii, fie combinării unor mărimi cu ajutorul unor relaţii algebrice de calcul (adunare, scădere, înmulţire, împărţire, extragere de radical, integrare etc.). Aparatele respective pot fi folosite fie ca atare, fie ca elemente periferice (de intrare) într-un calculator de proces.

În cele ce urmează vor fi prezentate cîteva aparate electronice de calcul analogice din sistemul unificat E (IEA).

Funcţionarea sistemului unificat de calcul se bazează pe utilizarea semnalelor cu „zero viu suprimat" şi introducerea unui „zero real".

Aceasta înseamnă că semnalul unificat 2 ... 10 mA înainte de a fi prelucrat este convertit în semnal cu zero real 0 ... 100%.

○ **Observaţie.** De exemplu, dacă unui traductor de presiune i se aplică la intrare presiunea zero ($P = 0$), semnalul unificat la ieşire este 2 mA („zero viu") care, înainte de a fi introdus în blocul de calcul propriu-zis, este transformat în 0 mA („zero real"). Ieşirea din elementul de calcul este tot un semnal unificat cu zero viu (2 ... 10 mA), ceea ce înseamnă că după efectuarea calculelor semnalul cu zero real (0 ... 100%) a fost convertit din nou în semnal unificat.

a. Element de adunare-scădere tip ELX 210

Este destinat adunării şi (sau) scăderii* a 2, 3 sau 4 semnale unificate 2 ... 10 mA, furnizînd la ieşire un semnal unificat 2 ... 10 mA, corespunzător operaţiei efectuate.

Formula de calcul după care se fac operaţiile de însumare este următoarea:

$$I_0 = \pm K_1 I_1 \pm K_2 I_2 \pm K_3 I_3 \pm K_4 I_4, \qquad (20.1)$$

în care:

I_0 este semnalul de ieşire 2 ... 10 mA;

$I_1 \dots I_4$ sînt semnale de intrare 2 ... 10 mA;

$K_1 \dots K_4$ — coeficienţi de pondere, subunitari, stabiliţi prin calcul.

Schema bloc a elementului respectiv este prezentată în figura 20.5.

Ponderea este reglată cu ajutorul rezistenţelor variabile (potenţiometre) R_3, R_5, R_7 şi R_9.

Semnalele prelucrate în reţeaua de rezistenţe $R_3 \dots R_{10}$ sînt însumate şi amplificate într-un amplificator de curent continuu cu modulator magnetic. Semnalul obţinut din modulatorul magnetic M (tensiune alternativă) este amplificat, redresat şi apoi aplicat unui amplificator de putere (din cadrul blocului H 211), la ieşirea căruia se obţine un semnal unificat de curent $I_0 = 2 \dots 10$ mA curent continuu.

Elementele H 52 sînt stabilizatoare de curent continuu care realizează suprimarea zeroului viu la intrare şi suprimarea zeroului real la ieşire.

---

* Practic spus, este vorba despre un sumator a unor mărimi de polarităţi diferite.

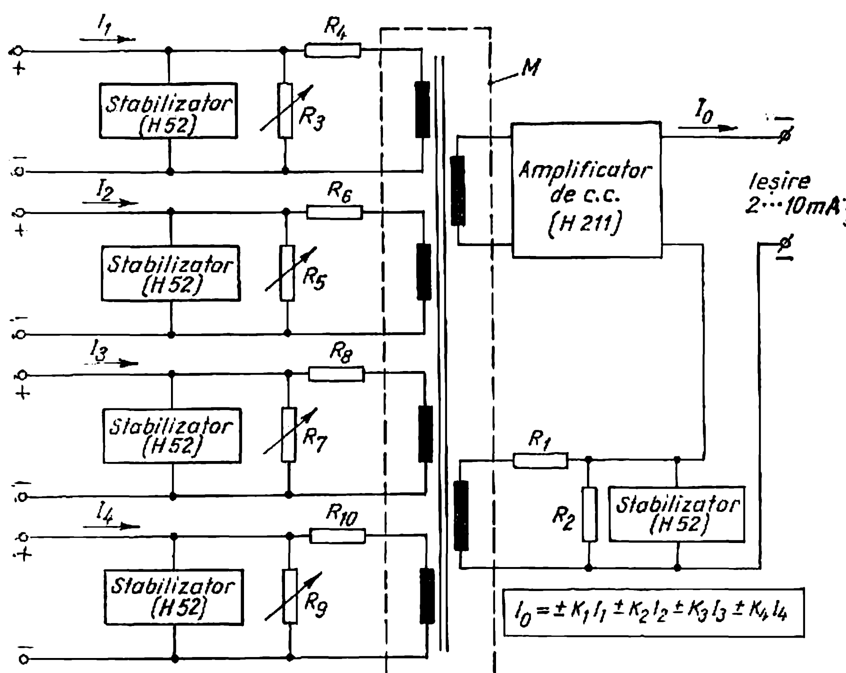


Fig. 20.5. Schema bloc a elementului de adunare-scădere tip ELX 210.

b. Extractor de radical tip ELX 220

Aparatul ELX 220 este folosit în instalațiile de automatizare pentru măsurarea (reglarea) debitelor (D), în cazul folosirii traductoarelor care transformă presiunea diferențială (ΔP) într-un semnal proporțional cu debitul măsurat.

Se demonstrează că între diferența de presiune ΔP și debitul D de fluid există o relație de forma:

$$\Delta P = KD^2, \tag{20.2}$$

sau:

$$D = \frac{1}{K} \sqrt{\Delta P}. \tag{20.3}$$

Rezultă, deci, că pentru a obține un semnal proporțional cu debitul este necesar să se extragă radicalul din valoarea semnalului de presiune diferențială.

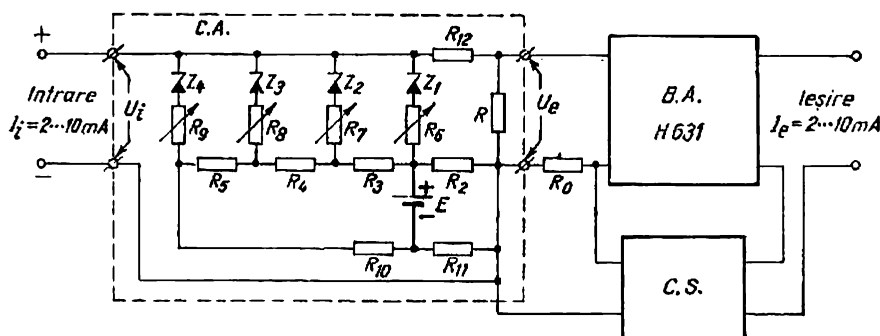


Fig. 20.6. Schema bloc a extractorului de radical tip ELX 220.

Schema bloc (fig. 20.6) cuprinde următoarele blocuri funcţionale:
— circuit de aproximare a rădăcinii pătrate (*CA*);
— circuit de stabilizare a punctului de zero (*CS*);
— bloc amplificator de curent continuu cu chopper (*BA*).

Semnalul de intrare se aplică circuitului de aproximare a rădăcinii pătrate, care cuprinde, de exemplu, patru diode Zener Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 polarizate diferit cu ajutorul sursei **E**, în scopul deschiderii lor succesive. Cît timp nici una dintre ele nu conduce, caracteristica de funcţionare este reprezentată de porţiunea *O-A* din figura 20.7. Pe măsura creşterii curentului de intrare I_i, tensiunea de ieşire U_e creşte, deci diodele Z_1...Z_4 încep să conducă succesiv obţinîndu-se segmentele *A—B* (conduce Z_1), *B—C* (conduc Z_1 şi Z_2), *C—D* (conduc Z_1 ... Z_3), *D—E* (conduc Z_1 ... Z_4).

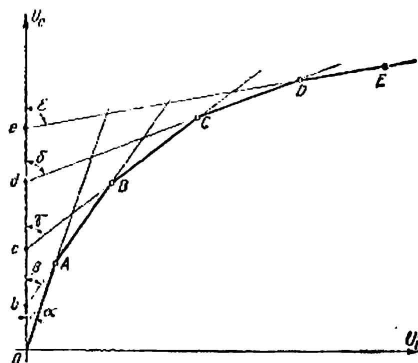


Fig. 20.7. Caracteristica de aproximare a rădăcinii pătrate.

Pantele porţiunilor de caracteristică sînt determinate de valorile rezistenţelor R_6 ... R_9, iar coordonatele punctelor de inflexiune — de valorile rezistenţelor R_2 ... R_5. În acest mod se obţine o curbă (segment de dreaptă) care aproximează suficient de fidel relaţia:

$$U_e = K\sqrt{I_i}. \qquad (20.4)$$

În continuare, tensiunea U_e este amplificată obţinîndu-se la ieşire un curent I_e proporţional cu radicalul curentului de intrare I_i.

● **Notă.** Extractorul de radical tip EIX 221 este similar tipului EIX 220, cu observația că extragerea rădăcinii pătrate se realizează cu un element Hall.

c. Element de înmulțire-împărțire tip ELX 230

Aparatul este destinat înmulțirii și (sau) împărțirii a doi sau trei parametri de semnal unificat, avînd în structura sa un multiplicator Hall și cîteva amplificatoare.

Caracteristicile tehnice principale sînt următoarele:

— semnale de intrare (I_1, I_2, I_3): 2 ... 10 mA curent continuu;

— semnalul de ieșire $(I)_e$: 2 ... 10 mA curent continuu;

— relația de calcul: $I_e = \frac{K_1(I_1 - 2)(I_2 - 2)}{K_2(I_3 - 2)} + 2$ (mA c.c.),

în care K_1, K_2 sînt coeficienți funcționali condiționați de relația:

$$0{,}5 \leqslant \frac{K_1}{K_2} \leqslant 2.$$

D. CONCEPTE DE UTILIZARE A CALCULATOARELOR ÎN CONDUCEREA PROCESELOR

1. INTRODUCERE

Pentru aceleași configurații ale sistemului calculator-om-proces, funcția calculatorului în conducerea proceselor poate fi diferită, în sensul că acesta poate prelua mai mult sau mai puțin din sarcinile unor elemente convenționale din conducerea procesului. De exemplu, așa cum va rezulta din cele ce urmează, calculatorul poate impune numai valorile de consemn (referința) ale regulatoarelor automate (v. cap. 14 și 17) sau poate prelua integral funcțiunile acestora, regulatoarele respective fiind eliminate. Astfel, în actualul stadiu de dezvoltare a tehnicii se aplică următoarele **concepte** în ceea ce privește folosirea calculatoarelor în conducerea proceselor:

— *regim „ghid operator"*;
— *control (supraveghere) centralizat*;
— *comenzi de referință*;
— *optimizare*;
— *conducerea numerică directă (CND)*.

2. FUNCȚIA DE „GHID OPERATOR"

În cazul în care omul se interpune în circuitul de comandă al procesului, fie că este vorba de o configurație *„off-line"* sau *„in-line"* calculatorul, prin prelucrarea parametrilor din proces și pe baza programului stabilit, are funcția de a stabili („a ghida") modul în care trebuie condus procesul. Ca urmare, funcția calculatorului este aceea de ghid operator, el putînd fi în acest caz fie un calculator universal, fie unul specializat, funcționînd cu divizarea timpului.

3. FUNCȚIA DE CONTROL CENTRALIZAT

Această funcție presupune utilizarea unui calculator specializat conectat *„on-line"* în circuit deschis, care are rolul de a recepționa, prelucra, înregistra sau afișa un număr bine stabilit de parametri, eventual de a semnaliza optic și acustic ieșirea din limite a anumitor parametri.

Acest tip de calculator (de proces) conectat *„on-line"* funcționează deci în timp real, deservind o anumită instalație tehnologică. Industria românească (IEA) realizează un asemenea tip de calculator de proces denumit MCC 200 și cunoscut sub numele de „instalație de control centralizat". Numărul parametrilor controlați este de 200. Conectarea acestui calculator la parametrii din proces se realizează prin intermediul unor elemente de calcul din cele descrise în paragraful C (ELX 210, ELX 220 etc.).

4. FUNCȚIA DE COMANDĂ A MĂRIMILOR DE REFERINȚĂ

În această situație (fig. 20.8), instalația tehnologică este prevăzută cu regulatoare automate proprii pentru diversele variabile y_1, y_2, y_3, iar calculatorul de proces — pe baza valorii unui parametru general y_4 — modifică mărimile de referință (de intrare) ale regulatoarelor (v. cap. 14 și 17).

Sistemul de conectare a calculatorului pentru acest mod de funcționare este *„on-line"* cu circuit închis.

5. FUNCȚIA DE OPTIMIZARE

Conducerea optimală prin calculator constituie forma cea mai avansată de automatizare complexă *„on-line"* cu circuit închis. Un asemenea mod de conducere ține seamă de implicațiile economice globale ale acțiunii de conducere. În felul acesta calculatorul urmărește scopuri

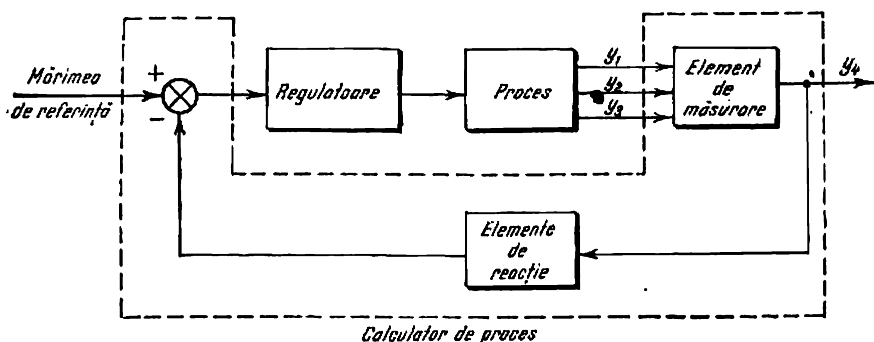


Fig. 20.8. Calculator avînd funcția de comandă a mărimilor de referință.

finale, cum ar fi de exemplu beneficiul maxim sau volumul maxim de producție, bineînțeles în cadrul unor condiții restrictive ca de exemplu costul sau alți indici de calitate.

Schema principială a unei automatizări complexe cu funcția de optimizare este prezentată în figura 20.9.

Calculatorul primește informații de la intrarea (parametrii materialului și ai energiei) și de la ieșirea procesului (parametrii produsului), precum și de la proces (instalația tehnologică de producție). Totodată procesului i se impune și un program de conducere în care sînt incluse criteriile de optimizare, inclusiv restricțiile impuse. Conducerea optimală se efectuează de obicei pe baza unui model matematic al procesului care reprezintă de fapt relațiile matematice existente între parametrii procesului în regim dinamic și staționar.

Conducerea optimală prin calculator comportă trei funcții (etape) de calcul distincte, dar corelate: *identificarea*, *optimizarea* și *comanda* (conducerea).

● **Identificarea.** Etapa de identificare, denumită uneori și modelul stării prezente, constă în determinarea („identificarea") va-

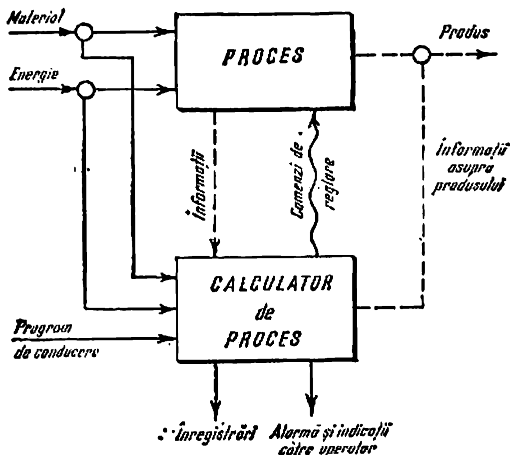


Fig. 20.9. Conducerea optimală cu calculator.

lorilor curente ale tuturor variabilelor independente și dependente din proces.

Identificarea este punctul de plecare necesar pentru funcția de optimizare.

● **Optimizarea.** Pe baza modelului matematic impus și a modelului stării prezente (identificate), se efectuează calculul de optimizare pentru determinarea valorilor necesare variabilelor de conducere (comandă).

● **Conducerea.** Din punctul de vedere al valorilor de funcționare al variabilelor din proces, calculul de identificare răspunde la întrebarea: „În ce stare se află procesul"? iar calculul de optimizare răspunde la întrebarea: „În ce stare ar trebui el să fie"? Calculul de conducere răspunde la întrebarea: „Cum se aduce procesul din situația în care este în cea care ar trebui să fie"? Așadar, sarcina conducerii este de a determina strategia necesară pentru a ghida procesul (printr-o serie de comenzi de reglare) din regimul de funcționare real spre regimul optim dorit.

Totodată, calculatorul de proces transmite o serie de înregistrări, semnalizări sau indicații către operator asupra parametrilor din proces.

6. FUNCȚIA DE CONDUCERE NUMERICĂ DIRECTĂ (CND)

După cum a rezultat din capitolele 14 și 17, variabilele principale ale procesului se reglează cu ajutorul sistemelor de reglare automate (*SRA*), adică cu ajutorul regulatoarelor. În cadrul funcției de conducere numerică directă (*CND*) prin calculator, o mare parte din echipamentul analogic precum și sistemele de reglare convenționale (regulatoarele) sînt eliminate, atribuțiile respective fiind preluate de către calculatorul de proces. Problemele generale de reglare (stabilitate, performanță, răspuns indicial etc.) tratate în capitolele 14 și 17 rămîn valabile și în acest caz, însă cu aplicație nu la regulatoarele obișnuite, ci la structurile incluse în calculator. În figura 20.10 se dă un exemplu de *CND* pentru trei debite de substanță dintr-un proces oarecare.

După cum se observă, funcția de *CND* constituie o conectare „*on-line*" cu circuit închis a unui calculator de proces. Valorile parametrilor măsurați prin intermediul traductoarelor sînt aplicate ciclic printr-un multiplexor de intrare unui convertor analog-numeric care le introduce în blocul de prelucrare cu program *CND*. Aceasta, primind programul de lucru (de exemplu răspunsul indicial și ecuația de funcționare a *SRA* —

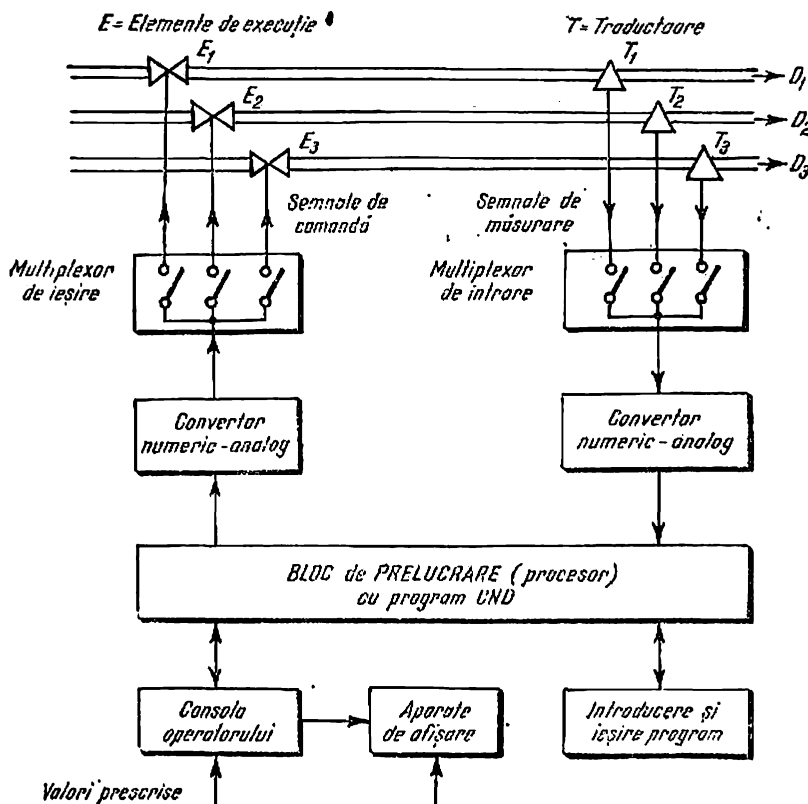


Fig. 20.10. Conducerea numerică directă cu calculator.

v. cap. 17) precum şi alte valori prescrise introduse prin consola operatorului uman, elaborează mărimile de comandă, care sînt mărimi numerice. Aceste mărimi convertite în formă analogică sînt distribuite prin multiplexorul de ieşire al elementelor de execuţie E.

E. EXEMPLE DE PROCESE INDUSTRIALE CONDUSE CU CALCULATOARE

În prezent, calculatoarele de proces şi-au găsit practic aplicaţie în toate domeniile industriale.

1. INDUSTRIA PETROLIERĂ

1. Conducerea cîmpurilor de sonde se poate utiliza printr-un calculator de proces folosind sisteme telemecanice (v. cap. 18) care determină debitul de extragere, determinînd volumele de apă, țiței și gaz, precum și timpul de producție al sondei, și conduce instalația de epurare, măsurare și transportul țițeiului brut pe conductă etc.

2. În rafinarea petrolului, care cuprinde distilarea brută, cracarea catalitică și reformarea catalitică, se folosesc calculatoare de proces în funcționare *on-line* cu optimizare.

3. În exploatarea conductelor și stațiilor de pompare finală, se poate folosi conducerea prin calculator.

2. INDUSTRIA CHIMICĂ

1. În producerea acetilenei se pot folosi calculatoare cu optimizare, care să asigure beneficiul maxim în cadrul mai multor restricții: debit maxim, viteza de formare a cocsului în cuptor și temperaturile la suprafețele exterioare ale tuburilor cuptorului. Calculatorul poate determina de asemenea randamentul maxim al compresoarelor, poate îmbunătăți performanțele în secția de hidrogenare a acetilenei; în sfîrșit, calculatorul poate stabili temperatura optimă a gazelor din cuptor în funcție de depunerile de cocs pe tubulatura cuptorului.

2. În producerea amoniacului, calculatorul conduce producția subunităților (reformatoare) care produc catalitic hidrogenul, azotul și bioxidul de carbon; de asemenea, conduce secția de purificare (eliminare CO) și pe cea de sinteză a amoniacului (de exemplu, calculatorul ajustează raportul dintre hidrogen și azot la variațiile de funcționare ale convertorului).

3. INDUSTRIA ENERGETICĂ

1. Conducerea cu calculatoare a centralelor termoelectrice are ca obiective: economia de combustibil, securitatea în funcționare, reducerea timpilor de oprire, conducerea procesului de pornire și oprire etc.

2. Conducerea centralelor nuclearo-electrice cu ajutorul calculatoarelor în perioadele de încercare (6—18 luni), ca și în exploatare, are în vedere atît aspectul economic, cît și securitatea muncii în asemenea instalații.

3. În centralele hidroelectrice, funcţiile calculatoarelor sînt acelea de supraveghere a elementelor hidrocentralei, conducere secvenţială a pornirii şi opririi grupurilor, utilizare optimală a apei în funcţie de debit, nivel şi cererile de putere etc.

4. În sistemul electroenergetic calculatorul se foloseşte, în combinaţie cu sistemele telemecanice, pentru reglarea frecvenţă-putere ţinînd seamă de circulaţia optimală a puterilor de schimb pe linii (minimizarea pierderilor de putere şi a căderilor de tensiune).

4. INDUSTRIA SIDERURGICĂ ŞI METALURGICĂ

1. În industria oţelului, conducerea cu calculator se aplică începînd cu minele de extracţie apoi la producerea fontei, la aglomerare, la conducerea furnalului înalt, la elaborarea oţelurilor, turnarea continuă la laminare etc.

2. În industria metalelor neferoase se utilizează calculatoare la flotaţia minereurilor, la conversia cuprului, la reducerea electrolitică a aluminei etc.

5. INDUSTRIA CIMENTULUI

Calculatorul poate fi folosit la amestecarea şi măcinarea materiilor prime şi obţinerea clincherului în cuptoarele rotative.

6. INDUSTRIA HÎRTIEI

Calculatorul se utilizează în conducerea proceselor de fierbere a pastei de celuloză, de regenerare şi recirculare a substanţelor chimice, de albire, dar mai ales la fabricarea fibrei de hîrtie.

7. ALTE INDUSTRII

Calculatoarele de proces îşi găsesc astăzi cîmp larg de aplicare, practic, în toate activităţile industriale şi economice, (în industria alimentară la rafinarea zahărului, la diverse procese de uscare şi coacere,

în procesul de obţinere a viscozei, la vopsirea textilelor, la dirijarea circulaţiei în transporturi aeriene, navale şi rutiere etc.). De asemenea, calculatoarele sînt folosite în cercetare şi proiectare, în speţă în cercetări aerospaţiale, în ştiinţele fizice, în biomedicină şi în diferite alte domenii.

REZUMAT

Conducerea proceselor cu ajutorul calculatoarelor reprezintă cea mai avansată formă de organizare a producţiei.

Configuraţiile sistemelor calculator-om-proces sînt: „*off-line*", „*in-line*" sau „*on-line*" (cu circuit deschis sau închis).

Pentru adaptarea mărimilor din proces la cele necesare calculatorului, se folosesc o serie de echipamente de intrare-ieşire cum sînt: convertoarele (numeric-analogice şi analog-numerice), multiplexoarele, elementele de calcul etc.

În conducerea proceselor cu ajutorul calculatoarelor, acestea îndeplinesc diferite funcţii, cum sînt:

— regim de „ghid operator";
— control (supraveghere) centralizat;
— comenzi de referinţă;
— optimizare;
— conducere numerică directă (*CND*).

Industria românească (IEA) realizează o serie de elemente de calcul (tipurile ELX), precum şi un calculator de proces pentru control centralizat denumit MCC 200.

Calculatoarele de proces îşi găsesc o largă aplicaţie în toate activităţile industriale şi economice.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. În conducerea „*off-line*" a procesului prin calculator, operatorul uman:
   a) este complet înlocuit?
   b) este plasat numai în circuitul de comandă?
   c) este plasat integral între proces şi calculator?
2. În conducerea „*on-line*" a procesului prin calculator informaţiile de măsurare sînt introduse:
   a) direct în calculator?
   b) operate în mod continuu de către om?
   c) introduse periodic în calculator prin divizarea timpului?

3. Funcţia de control centralizat se realizează prin conectarea proces-calculator în regim:

   a) *off-line?*
   b) *in-line?*
   c) *on-line?*

4. În cazul folosirii calculatorului pentru comenzi de referinţă, regulatoarele automate:

   a) sînt eliminate complet?
   b) sînt eliminate parţial?
   c) rămîn în funcţiune?

5. Prin conducerea numerică directă, calculatorul îndeplineşte şi funcţia de:

   a) reglare?
   b) execuţie?
   c) măsurare?

CUPRINS

Nr. colilor de tipar: 18,5
Tiraj: 97 065 ex.
Bun de tipar: 18.VIII.1977.



Com. nr. 70 329/11 341
Combinatul Poligrafic
„CASA SCÎNTEII"
București — R.S.R.